
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΚΟΓΙΑΤΣΟΣ Νικόλαος

θέμα:

**“Σχεδιασμός πρωτοκόλλου προσδιορισμού
Θέσης για RFID”**

επιβλέποντες καθηγητές

ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ Γεώργιος
ΔΗΜΗΤΡΟΠΟΥΛΟΣ Παναγιώτης

ΒΟΛΟΣ ΜΑΡΤΙΟΣ 2008



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 6149/1
Ημερ. Εισ.: 09-04-2008
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΗΥΤΔ
2008
ΚΟΓ

Περιεχόμενα:

1 Εισαγωγή στα RFID

- 1.1 Γενικά η τεχνολογία των RFID (Σελίδα 3)
- 1.2 τύποι τεχνολογιών RFID
- 1.3 χαρακτηριστικά γνωρίσματα (Σελίδα 4)

2 Passive transponders

2.1 LOW FREQUENCY (LF) PASSIVE RFID

- 2.1.1 Συχνότητες (Σελίδα 6)
εύρος ανάγνωσης
- 2.1.2 οφέλη και περιορισμοί
εφαρμογές

2.2 HIGH FREQUENCY (HF) PASSIVE RFID

- 2.2.1 συχνότητες (Σελίδα 8)
πρότυπα
διαπερατότητα σε υλικά
- 2.2.2 Anti-Collision (Σελίδα 9)
οφέλη και περιορισμοί
εφαρμογές

2.3 ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) PASSIVE RFID

- 2.3.1 Συχνότητες (Σελίδα 12)
εύρος ανάγνωσης
Anti-Collision
- 2.3.2 διαπερατότητα σε υλικά (Σελίδα 13)
πρότυπα
οφέλη και περιορισμοί
εφαρμογές

3 RFID STANDARDS

- 3.1 σκοπός της τυποποίησης (Σελίδα 16)
παγκόσμιες οργανώσεις τυποποίησης

3.2 ISO

- 3.2.1 LF (Σελίδα 17)
ISO 11784 και 11785
ISO 18000 σειρά
- 3.2.2 HF (Σελίδα 18)
ISO 15693 και 14443
ISO 18000-3
- 3.2.3 UHF (Σελίδα 19)
ISO 18000-6
- 3.2.4 Γενικός πίνακας προτύπων ISO (Σελίδα 20)

3.3 EPC Global

- 3.3.1 UHF Class 0 και 1 (Σελίδα 21)
- 3.3.2 Περιγραφή δικτύων EPC (Σελίδα 22)
- 3.3.3 Γενικός πίνακας με τα EPC πρότυπα (Σελίδα 23)

4 Singulation Protocol	
4.1 tree-walking singulation Protocol	(Σελίδα 24)
5 Μοντέλο matlab προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος RFID	
5.1 Αμοιβαία Επαγωγή	
5.1.1 νόμος του Faraday	(Σελίδα 26)
5.1.2 συντελεστής αυτεπαγωγής	(Σελίδα 28)
5.1.3 συντελεστής σύζευξης k	(Σελίδα 29)
5.1.4 εξίσωση Thomson	
5.1.5 τάση στον transponder	(Σελίδα 30)
5.2 Προσθήκη θορύβου	(Σελίδα 31)
5.3 Ελάχιστη τάση λειτουργίας transponder	(Σελίδα 32)
5.4 Πιθανότητα απάντησης του Reader	(Σελίδα 33)
5.4.1	
Cumulative Distribution Function CDF	
6 Αρχιτεκτονική συστήματος	
6.1 Δομή συστήματος	(Σελίδα 35)
6.2 Λειτουργία συστήματος	(Σελίδα 36)
7 Νευρωνικό δίκτυο	(Σελίδα 38)
7.1 Μοντέλο τεχνητού νευρώνα	
7.1.1 αθροιστής - συνάρτηση ενεργοποίησης	
7.1.2 μάθηση και ανάκληση	
7.1.3 τροφοδότηση	(Σελίδα 39)
7.2 Τοπολογία δικτύου	
7.3 Εκπαίδευση δικτύου	(Σελίδα 40)
8 Συνάρτηση υπολογισμού θέσης	
8.1 Μοντέλο τεχνητού νευρώνα	
8.1.1 αναγωγή του συστήματος σε γραμμικό	(Σελίδα 41)
8.1.2 λύση του συστήματος	(Σελίδα 43)
8.2 Εκτίμηση εμπιστοσύνης	(Σελίδα 44)
8.3 Παραγωγή δεδομένων εκπαίδευσης	(Σελίδα 45)
9 Επίλογος	
9.1 Σύνοψη	(Σελίδα 46)
Παράρτημα	(Σελίδα 47)

1. Εισαγωγή –RFID

1.1 Τι είναι το RFID

Η τεχνολογία των RFID δεν είναι νέα και χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο σε πολυάριθμες εφαρμογές σε όλο τον κόσμο. Αρχικά, εφαρμόζονταν κατά τη διάρκεια του δευτέρου παγκόσμιου πολέμου για να προσδιορίσει και να ταυτοποιήσει αεροπλάνα, ως φίλικα ή εχθρικά. Τα RFID χρησιμοποιούνται ακόμα και σήμερα για τον ίδιο σκοπό.

Το κύριο κομμάτι αυτής της τεχνολογίας είναι ο transponder ή tag, που στις περισσότερες περιπτώσεις αποτελείται από ένα τσιπ και μια κεραία τα οποία τοποθετούνται επάνω σε ένα υπόστρωμα (substrate). Το τσιπ αποτελείται από έναν επεξεργαστή, μνήμη και συσκευή αποστολής ραδιοσημάτων. Αυτοί οι αναμεταδότες επικοινωνούν μέσω της ραδιοσυχνότητας με έναν αναγνώστη(reader), ο οποίος έχει δική του κεραία. Οι readers μπορούν να συνδεθούν μέσω καλώδιωσης ή ασύρματα σε έναν κεντρικό υπολογιστή. Οι transponders είναι επίσης γνωστοί ως smart ή radio tags. Η μνήμη ποικίλει, ανάλογα με τον κατασκευαστή, από μερικούς χαρακτήρες ως μερικά kilobyte.

Οι transponders μπορούν είτε να διαβαστούν μόνο (R/O) και προγραμματίζονται εκ των πρότερων με έναν συγκεκριμένο προσδιορισμό ή μπορούν να διαβαστούν και να γραφτούν (R/W) για τις εφαρμογές που απαιτούν τα στοιχεία να αποθηκεύονται στον αναμεταδότη και να μπορούν να ενημερώνονται δυναμικά. Μια άλλη μορφή αναμεταδότη είναι να γράφεται μία φορά και να διαβάζεται πολλές φορές (WORM). Αυτό επιτρέπει να γράφεται ένας αριθμός αναγνώρισης στον transponder μία φορά. Οι πληροφορίες αποθηκεύονται στη μνήμη και δεν μπορούν να αλλάξουν αλλά ο transponder μπορεί να διαβαστεί πολλές φορές.

1.2 Τύποι RFID

Οι δύο πιο κοινοί τύποι τεχνολογιών RFID είναι οι Active και οι Passive. Οι Active transponders τροφοδοτούνται μόνοι τους και είναι γενικά ακριβότεροι από τους Passive. Η ύπαρξη τροφοδοσίας επιτρέπει στην ετικέτα να έχει μεγαλύτερη απόσταση επικοινωνίας και συνήθως μεγαλύτερη μνήμη. Η πιο κοινή εφαρμογή για τα Active RFID είναι για τη συλλογή φόρων στα διόδια των εθνικών οδών.

Όσον αφορά στους Passive transponders, οι οποίοι είναι διαθέσιμοι με ή χωρίς τσιπ, δεν έχουν καμία εσωτερική πηγή ενέργειας κι επομένως απαιτούν εξωτερική ενέργεια για να λειτουργήσουν. Ο transponder τροφοδοτείται από το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που εκπέμπει ο Reader. Το σήμα που φτάνει στον transponder φορτίζει έναν πυκνωτή, ο οποίος στη συνέχεια θα δώσει την ενέργεια που απαιτείται για την επικοινωνία με τον reader.

Μερικές από τις πιο κοινές χρήσεις των Passive transponders είναι για animal identification, waste management, security and access control, work-in-process, asset tracking και electronic commerce.

1.3 Χαρακτηριστικά γνωρίσματα RFID

Είτε μιλάμε για Active ή Passive RFID, τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα και τα οφέλη είναι τα ίδια.

- Οι transponders μπορούν να διαβαστούν από απόσταση και από οποιοδήποτε προσανατολισμό, κατά συνέπεια δεν απαιτούν οπτική επαφή για να διαβαστούν.
- Οι transponders έχουν την δυνατότητα να διαβαστούν και να γραφτούν, κι έτσι τα δεδομένα αλλάζουν δυναμικά οποιαδήποτε στιγμή.

- Μεγάλος αριθμός από transponders μπορούν να διαβαστούν αμέσως, μαζικά και πολύ γρήγορα.
- Τα RFID Tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε οποιοδήποτε μη μεταλλικό προϊόν. Αυτό επιτρέπει στο Tag να λειτουργεί σε αντίξοα περιβάλλοντα και να παρέχει ένα μόνιμο προσδιορισμό για την ύπαρξη του προϊόντος.

Σήμερα, οι περισσότερες εφαρμογές περιλαμβάνουν Passive transponders. Για αυτόν τον λόγο, βασιστήκαμε σε Passive RFID. Υπάρχουν διαφορετικές ζώνες συχνότητας μέσα στις οποίες οι Passive transponders λειτουργούν.

Τα Low και High RFID λειτουργούν βασιζόμενα στην αρχή των επαγωγικών συζεύξεων. Δηλαδή η ενέργεια μεταφέρεται από τον reader στο Tag μέσω του κοινού μαγνητικού πεδίου. Το ποσό της μεταφερμένης ενέργειας είναι ανάλογο προς το μέγεθος των transmitting και receiving κεραιών καθώς επίσης και στην δυνατότητα των Tags να λειτουργήσουν στη συχνότητα εκπομπής. Η συχνότητα αντήχησης του Tag είναι το μέρος αυτό στο οποίο η σύνθετη αντίσταση είναι ελάχιστη και επιτρέπει τη μέγιστη ροή στο κύκλωμα. Η συχνότητα αντήχησης υπολογίζεται ως συνάρτηση της αυτεπαγωγής και της αντίστασης του κυκλώματος του Tag. Η ποιότητα ενός ηχηρού κυκλώματος μετριέται από τον παράγοντα Q. Όσο υψηλότερος ο παράγοντας Q, τόσο υψηλότερο το ποσό ενεργειακής απορρόφησης.

2. Passive transponders

2.1 LOW FREQUENCY (LF) PASSIVE RFID

2.1.1 Συχνότητες και εύρος ανάγνωσης (LF)

Τα Passive LF RFID έχουν χρησιμοποιηθεί σε διάφορες βιομηχανίες για πολλά έτη. Οι πιο κοινές συχνότητες που χρησιμοποιήθηκαν είναι 125 και 134,2 kHz.

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά των LF RFID είναι ότι δεν επηρεάζονται από μεταλλικές επιφάνειες. Αυτό τα καθιστά ιδανικά για τον προσδιορισμό μεταλλικών αντικειμένων όπως οχήματα, εξοπλισμό, εργαλεία και εμπορεύματα σε κιβώτια μετάλλων. Το εύρος ανάγνωσης μπορεί να ποικίλει από λίγα εκατοστά σε μερικά μέτρα ανάλογα με το μέγεθος των αναμεταδοτών και του αναγνώστη που χρησιμοποιείται.

Τα LF RFID διαπερνούν τα περισσότερα υλικά, όπως το νερό και ιστούς σωμάτων. Ο περιορισμός είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί σε βιομηχανικό περιβάλλον, οι ηλεκτρικές μηχανές μπορεί να παρεμποδίσουν το σύστημα.

Λόγω του μεγέθους της κεραίας που απαιτείται, οι αναμεταδότες LF είναι χαρακτηριστικά ακριβότεροι από τους αναμεταδότες υψηλής συχνότητας. Αυτό περιορίζει τη συχνότητα για τις εφαρμογές όπου οι αναμεταδότες μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

2.1.2 Οφέλη - περιορισμοί και εφαρμογές (LF)

Μερικά από τα οφέλη και τους περιορισμούς του LF RFID:

- Διαπερνά τα περισσότερα υλικά συμπεριλαμβανομένου του νερού και των ιστών σωμάτων, που το καθιστά ιδανικό για το ζωικό προσδιορισμό

- Τα Tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε οποιαδήποτε μη μεταλλικά σώματα όπως παλέτες, κάρτες κ.λπ....
- Το LF θα μπορούσε να επηρεαστεί από τον ηλεκτρικό θόρυβο που μπορεί να παραχθεί από τις μηχανές σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον
- Υπάρχει σχετικά χαμηλή ταχύτητα μεταφοράς στοιχείων (70ms για το διάβασμα εντολής), όσο χαμηλότερη η συχνότητα τόσο πιο αργή η επικοινωνία
- Ο αναμεταδότης είναι ακριβότερος
- Τα περισσότερα συστήματα LF μπορούν να διαβάσουν μόνο έναν αναμεταδότη τη φορά και δεν υποστηρίζουν ταυτόχρονο διάβασμα πολλαπλών αναμεταδοτών.
- Το εύρος διαβάσματος είναι από λίγα εκατοστά σε μερικά μέτρα, ανάλογα με το μέγεθος των αναμεταδοτών
- Η συχνότητα χρησιμοποιείται παγκοσμίως. Δεν υπάρχει κανένας περιορισμός.

Αυτήν την περίοδο τα περισσότερα συστήματα ελέγχου πρόσβασης είναι βασισμένα στο LF, με κάρτες ή keyfob για ασφάλεια. Μια read only κάρτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί απλά για τον προσδιορισμό και μια read-write κάρτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διατηρήσει τις πληροφορίες πρόσβασης ή ασφάλειας.

Ο μεγαλύτερος χρήστης για το LF RFID είναι η βιομηχανία αυτοκινήτων. Αυτήν την περίοδο όλα τα συστήματα ακινητοποίησης κινητήρα αυτοκινήτων χρησιμοποιούν έναν transponder LF που ενσωματώνεται στο κλειδί του αυτοκινήτου σε συνεργασία με έναν reader που τοποθετείται στην ανάφλεξη. Άλλες εφαρμογές είναι προσδιορισμός οχημάτων για την πρόσβαση σε μέρη εθνικών οδών και χώρων στάθμευσης.

Πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν το LF RFID για το work-in-process. Όταν είσαι σε θέση να παρεμβάλεις έναν αναμεταδότη σε μια παλέτα ή σε ένα προϊόν, δίνεις στον κατασκευαστή την απαιτούμενη αξιοπιστία αφού επιτρέπει το προϊόν να προσδιοριστεί, χρησιμοποιούμενο σε όλη τη διαδικασία κατασκευής.

2.2 HIGH FREQUENCY (HF) PASSIVE RFID

2.2.1 Συχνότητες – πρότυπα - διαπερατότητα σε υλικά HF

Η Passive High συχνότητα (HF) λειτουργεί στα 13.56MHz που είναι μια συνολικά αποδεκτή συχνότητα. Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε σύστημα που λειτουργεί στο HF μπορεί να χρησιμοποιηθεί παγκοσμίως. Εντούτοις, υπάρχουν μερικές διαφορές με τους κανονισμούς στις διάφορες περιοχές του κόσμου. Αυτές οι διαφορές αναφέρονται κυρίως στην ισχύ και το εύρος ζώνης. Η Βόρεια Αμερική, ο Καναδάς και η FCC περιορίζουν την ισχύ κεραιών των readers σε τρία Watt ενώ στην Ευρώπη οι κανονισμοί επιτρέπουν τα τέσσερα Watt.

Το HF είναι επίσης η βάση των πολυάριθμων προτύπων όπως το ISO 14443, 15693, 18000-3.

Με την HF, το σήμα διαπερνά εύκολα τα περισσότερα υλικά συμπεριλαμβανομένων του νερού και των ιστών σωμάτων. Επηρεάζεται όμως περισσότερο από τα μέταλλικά αντικείμενα του περιβάλλοντος αντίθετα με τη χαμηλή συχνότητα (LF).

Σε σύγκριση με την LF, τα οφέλη της HF είναι οι χαμηλότερες δαπάνες για τα tag, η μεγαλύτερη ταχύτητα επικοινωνίας και η δυνατότητα να διαβαστούν πολλές ετικέτες ταυτόχρονα.

Το μήκος της κεραίας είναι βασισμένο στο μήκος του κύματος του σήματος κι όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα τόσο μικρότερο το μήκος κύματος. Για αυτόν τον λόγο, υπάρχει το πλεονέκτημα ότι μια κεραία για ένα tag HF είναι αρκετά μικρή και μπορεί να δημιουργηθεί βάφοντας επάνω σε ένα υπόστρωμα με ένα αγωγίμο μελάνι και στη συνέχεια να τοποθετηθεί το τσιπ.

Τα Tag που παράγονται με τα τσιπ HF έχουν λιγότερο από 0.1mm πάχος και είναι διαθέσιμα με κεραίες διαφορετικών μεγεθών . Όσο μεγαλύτερη η κεραία, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια που δεσμεύεται και τόσο μεγαλύτερη η απόσταση επικοινωνίας με τον αναγνώστη. Τα μικρότερα μεγέθη των Tag μπορεί να είναι ευκολότερο να συσκευαστούν σε ένα προϊόν, αλλά μειονεκτούν με τη μείωση της διαθέσιμης απόστασης επικοινωνίας.

2.2.2 Anti-Collision – οφέλη - περιορισμοί – εφαρμογές HF

Όσο υψηλότερη η συχνότητα, τόσο υψηλότερος ο ρυθμός αποστολής δεδομένων και τόσο γρηγορότερη η επικοινωνία μεταξύ του αναγνώστη με το tag. Αυτή η αύξηση στην ταχύτητα επιτρέπει τον αναγνώστη να επικοινωνήσει με πολλά tags ταυτόχρονα. Η διαδικασία της επικοινωνίας με πολλά tags είναι γνωστή ως Anti-Collision και στο HF, ένας αναγνώστης μπορεί να διαβάσει μέχρι 50 tag ανά δευτερόλεπτο.

Μερικά ακόμη από τα οφέλη και τους περιορισμούς των HF RFID:

- Διαπερνά τα περισσότερα υλικά εύκολα συμπεριλαμβανομένου του νερού και των ιστών σωμάτων
- Δεν είναι τόσο αποτελεσματικό όσο το LF παρουσία μετάλλου ή νερού
- Τα Tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε μη μεταλλικά στοιχεία όπως οι ετικέτες, παλέτες, keyfobs, κάρτες κ.λπ....

- Το HF επηρεάζεται από ηλεκτρικό θόρυβο που παράγεται από τις μηχανές σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον
- Έχει υψηλότερο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων (20ms για το διάβασμα εντολής), όσο υψηλότερη η συχνότητα, τόσο γρηγορότερη η επικοινωνία
- Οι αναμεταδότες είναι πιο φτηνοί
- Ο αναγνώστης μπορεί να επικοινωνήσει με τις πολλές ετικέτες ταυτόχρονα
- Το εύρος διαβάσματος είναι μικρότερο από το ένα μέτρο
- Οι ετικέτες έχουν μεγαλύτερη ικανότητα μνήμης
- Η συχνότητα έχει αναγνωριστεί και χρησιμοποιείται παγκοσμίως (χωρίς κανένα περιορισμό)
- Ύπαρξη προτύπων: ISO 15693, 14443, 18000-3

Αν και τα περισσότερα συστήματα ελέγχου πρόσβασης είναι σήμερα βασισμένα στο LF, το HF επιλέγεται για τα νέα συστήματα ελέγχου και ασφάλειας πρόσβασης. Η πρόσθετη μνήμη επιτρέπει τη βελτιωμένη ασφάλεια και την ολοκλήρωση της βιομετρικής ως τμήμα των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων ασφάλειας.

Οι Contact-less Smart Cards ή RFID cards πρόκειται να γόνει η επόμενη γενιά των πιστωτικών καρτών. Οι επιχειρήσεις πιστωτικών καρτών εξετάζουν το HF RFID βασισμένο στα πρότυπα του ISO 14443. Η επέκταση αυτών των νέων καρτών θα αρχίσει στα επόμενα χρόνια, μόλις τα λιανικά τερματικά αναβαθμιστούν για να υποστηρίξουν τις λειτουργίες των RFID. Ένας από τους κύριους λόγους για την αλλαγή στις Contact-less Smart Cards είναι πρώτιστα η τραχύτητα και η συνέπεια στην απόδοση που συνδέονται με τα RFID. Όταν μια ετικέτα ενσωματώνεται σε μια κάρτα η ετικέτα προστατεύεται

ολοκληρωτικά από το εξωτερικό περιβάλλον. Όσον αφορά στους αναγνώστες, μπορούν επίσης να ενσωματωθούν και να προστατευθούν από το εξωτερικό περιβάλλον. Ο δεύτερος λόγος για την αλλαγή σε RFID είναι η πρόσθετη μνήμη που οι ετικέτες μπορούν να αποθηκεύσουν. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ασφάλεια και προστασία σε ζητήματα μυστικότητας. Χρησιμοποιώντας κάποιες βιομετρικές μεθόδους και εξατομικευμένους αριθμούς πρόσβασης, επιτυγχάνεται τελικά το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας.

Στον Καναδά, η Shell χρησιμοποιεί αυτήν την περίοδο το HF RFID μέσω του προγράμματος Easy Pay. Αυτό το πρόγραμμα επιτρέπει στους πελάτες να πληρώνουν αυτοματοποιημένα στις αντλίες. Στο Χογκ Κονγκ, περισσότεροι από εννέα εκατομμύρια άνθρωποι χρησιμοποιούν την κάρτα Octopus για να έχουν πρόσβαση στο δημόσιο σύστημα μεταφορών τους. Πρόσφατα, στην Ολλανδία έχουν εισαγάγει ένα Contact-less σύστημα έξυπνων καρτών, με βάση το ISO 14443, για την πληρωμή και την πρόσβαση στο σύστημα μεταφορών (TLS). Αυτό επιτρέπει στους ταξιδιώτες TLS να κινούνται σε τραίνα, μετρό και λεωφορεία μέσα στην Ολλανδία χρησιμοποιώντας ένα ενιαίο, Contact-less RFID εισιτήριο.

Πολυάριθμες αθλητικές ομάδες και αθλητικά γεγονότα χρησιμοποιούν το HF RFID για την πρόσβαση και την πληρωμή. Τα περισσότερα χιονοδρομικά κέντρα στην Ευρώπη χρησιμοποιούν αυτή την τεχνολογία για λόγους ευκολίας αλλά και για την πρόληψη από την απάτη. Το Παγκόσμιο Κύπελλο του 2006 στη Γερμανία χρησιμοποιεί εισιτήρια με ενσωματωμένα HF inlays.

Το HF είναι επίσης μια λύση για την ταυτοποίηση προϊόντων, όπως cases και pallets. Η απόσταση της επικοινωνίας του HF περιορίζει τον τύπο εφαρμογών για τις αποθήκες εμπορευμάτων ή διοικητικών μερίμνων. Για το λιανικό εμπόριο ή για τις εφαρμογές που δεν απαιτούν μεγάλες αποστάσεις επικοινωνίας, το HF είναι μια πολύ καλή λύση.

Το High Frequency RFID είναι η ιδανική λύση για εφαρμογές που απαιτούν χαμηλού κόστους ταυτοποίηση και την ικανότητα να διαβάζονται μαζικά πολλά tags σε μια απόσταση μέχρι ένα μέτρο.

2.3 ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) PASSIVE RFID

2.3.1 Συχνότητες - εύρος ανάγνωσης - Anti-Collision UHF

Η Ultra High Frequency αναφέρεται στο φάσμα ραδιοσυχνότητας από 300 MHz ως 3 GHz. Η τεχνολογία RFID έχει αναπτυχθεί σε διαφορετικές περιοχές αυτής της ζώνης και συγκεκριμένα στα 433 MHz, 860 - 956 MHz και στα 2,45 GHz. Η ζώνη 860 - 956 MHz έχει προσελκύσει τις περισσότερες επενδύσεις και αναμένεται να προταγωνιστεί στην αγορά των UHF RFID.

Το UHF έρχεται να μπει στην αγορά RFID απέναντι στην καθιερωμένη υψηλή συχνότητα (13,56 MHz) και τις τεχνολογίες χαμηλής συχνότητας (125-134.2 kHz). Το HF είναι μια δυναμική τεχνολογία, που ανταποκρίνεται θετικά στις διοικητικές εφαρμογές αντικειμένων, αλλά αποτυγχάνει όταν τα tags που διαβάζονται έχουν απόσταση πέραν του ενός μέτρου από τον reader. Οι UHF προμηθευτές στοχεύουν στην αγορά αλυσίδων ανεφοδιασμού όπου απαιτούνται μεγαλύτερες αποστάσεις ανάμεσα σε reader και tag.

Τα RFID στη UHF διαφέρει από τα συστήματα υψηλής συχνότητας σε διάφορους τομείς. Αρχικά η UHF λειτουργεί, στη σειρά 860-956 MHz που επιτρέπει πιο μικρές κεραίες και μεγαλύτερες αποστάσεις διαβασματος. Η επικοινωνία reader – tag επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας την τεχνολογία backs-scatter. Με αυτήν την μέθοδο, το tag επικοινωνεί με τον αναγνώστη μέσω της διαμόρφωσης του λαμβανόμενου σήματος και στην συνέχεια την επανεκπομπή του πίσω στον αναγνώστη. Αυτή η μέθοδος δεν είναι πλήρως διαφορετική από αυτή της Inductive-coupling που χρησιμοποιείται στα συστήματα HF. Επιπλέον, η anti collision μέθοδος επιτυγχάνεται στο UHF χρησιμοποιώντας ένα πρωτόκολλο βασισμένο στη ραδιοφωνική αναμετάδοση bits σε αντιδιαστολή με το πρωτόκολλο HF που λειτουργεί βασισμένο στην έννοια των time slots. Αυτό επιτρέπει να διαβάζονται υψηλότερος αριθμός tags ταυτόχρονα στη UHF. Συγκεκριμένα 200 tags σε αντιδιαστολή με τα 50 tags στα συστήματα με HF.

2.3.2 Διαπερατότητα σε υλικά – πρότυπα - οφέλη - περιορισμοί – εφαρμογές UHF

Αν και η UHF RFID λύνει μερικές ανεπάρκειες του HF RFID, έχει κάποιους περιορισμούς. Τα σημερινά UHF συστήματα δεν λειτουργούν παρουσία των υγρών ενώ τα HF και το LF λειτουργούν αρκετά καλά σε τέτοια περιβάλλοντα. Το μέταλλο δυσκολεύει οποιαδήποτε εφαρμογή RFID, και την UHF. Επιπλέον, η μεγαλύτερη απόσταση διαβάσματος γίνεται μειονέκτημα στις εφαρμογές όπως το banking και access control

Μια από τις σημαντικότερες αιτίες που εμποδίζουν την ευρεία διάδοση των UHF RFID είναι η έλλειψη παγκοσμίως αποδεκτών προτύπων και κανονισμών. Στη σημερινή παγκόσμια οικονομία, το διηπειρωτικό εμπόριο απαιτεί τα αγαθά για να είναι παγκοσμίως αναγνωρισμένα. Αυτή την περίοδο, η συχνότητα, η ισχύς και οι κανονισμοί για την ασφάλεια προσδιορίζονται διαφορετικά στις διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Στη Βόρεια Αμερική η UHF λειτουργεί στα 902 - 928 MHz. Στην Ευρώπη η UHF δουλεύει στα 860 - 868 MHz ενώ η Ιαπωνία χρησιμοποιεί τα 950 - 956 MHz.

Μερικά οφέλη και περιορισμοί του UHF RFID:

- Παρέχει τις μεγαλύτερες αποστάσεις διαβάσματος, γύρω στα 3 έως 6 μέτρα
- Τα tags μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν σε στερεά μη μεταλλικά στοιχεία όπως οι ετικέτες, παλέτες, κάρτες κ.λπ....
- Ο υψηλός ρυθμός αποστολής και το γρηγορότερο anti collision σχήμα διευκολύνουν την ύπαρξη υψηλότερων αριθμών διαβασματος. θεωρητικά ο αριθμός των 800 διαβασμάτων είναι επιτεύξιμος αλλά για πρακτικούς λόγους ο αριθμός πέφτει στα 200.
- Οι UHF αναμεταδότες κοστίζουν λιγότερο απέναντι στους HF λόγω της χαμηλότερης μνήμης και της απλούστερης διαδικασίας κατασκευής.

- Η χαμηλή μνήμη των tags, τα περισσότερα αυτήν την περίοδο κατασκευασμένα UHF tags δεν έχουν user memory και φέρουν μόνο έναν 96 bit serial number.
- Η έλλειψη γενικών προτύπων και κανονισμών. Η προσπάθεια είναι σε εξέλιξη για να καθιερωθεί ένα ομοιόμορφο, τυποποιημένο και αποδεκτό σε όλες τις περιοχές του κόσμου standard.
- Η απόδοση πέφτει από την ύπαρξη υγρών και μετάλλων.
- Υπάρχει συσσώρευση στη ζώνη συχνότητας στα 860-960 MHz αφού λειτουργεί η ISM (Industrial, Scientific, Medical) ζώνη, κάνοντας την μια από τις πιο θορυβούμενες περιοχές του φάσματος.

Υπάρχουν πολύπλοκοι παράγοντες που εμποδίζουν την γρηγορότερη πρόοδο στη UHF αγορά RFID. Όπως αναφέρεται πιο πάνω, η UHF τεχνολογία πάσχει από την έλλειψη προτύπων και κανονισμών. Η ISO και το EPC Global είναι οι κύριοι οργανισμοί που εργάζονται για να φτιάξουν τα πρότυπα και τις προδιαγραφές για τα UHF RFID. Εντούτοις, κατά περιόδους, αυτές οι δύο οργανώσεις φαίνεται να ακολουθούν διαφορετικές πορείες, με συνέπεια την διπλή προσπάθεια και τη σύγχυση στην αγορά. Αυτό έχει αναγκάσει μερικούς σημαντικούς προμηθευτές και χρήστες να καθυστερήσουν την είσοδό τους στην αγορά RFID. Αυτή τη στιγμή τα πρότυπα EPC έχουν καθορίσει τις προδιαγραφές για την κατηγορία 0 και την κατηγορία 1 των tags. Συγχρόνως, το 18000-6 είναι το πρότυπο του ISO για τη UHF ζώνη των 900 MHz.

Το EPC Global είναι μια σημαντική κατευθυντήρια δύναμη στο χώρο των RFID. Είναι ο διάδοχος της Auto ID Inc., που ήταν ο σύνδεσμος του ακαδημαϊκού κόσμου και της βιομηχανίας προϊόντων κατανάλωσης. Το Global όραμα της EPC είναι να προσδιορίσει κάθε στοιχείο μέσα στην αλυσίδα ανεφοδιασμού της αγοράς και τελικά να προσδιορίζει κάθε αντικείμενο με έναν μοναδικό ηλεκτρονικό κωδικό αριθμό προϊόντος (EPC). Αν και η αποστολή τους φαίνεται να είναι φιλόδοξη, αυτή τη στιγμή υπάρχουν πιλοτικά

έργα εν εξελίξει σε εφαρμογές αλυσίδων ανεφοδιασμού. Το EPC Global σχεδιάζει τις προδιαγραφές για όλες τις τεχνολογίες RFID. Εντούτοις, κατά πρώτο λόγο η εργασία της συγκεντρώνεται στη UHF σειρά. Κι αυτό επειδή το EPC Global υποστηρίζεται κυρίως από τη βιομηχανία καταναλωτικών προϊόντων. Λιανοπωλητές και κατασκευαστές όπως Wal-Mart, Gillette και Proctor & Gamble βλέπουνε τα άμεσα οφέλη από τη χρησιμοποίηση RFID σε διαδικασίες διανομής τους. Θεωρούν ότι το UHF λόγω του μεγαλύτερου εύρους διαβάσματος, είναι καταλληλότερος για τη διαχείριση αλυσίδων ανεφοδιασμού τύπου παλέτας και μέχρι ενός βαθμού στο case level.

Ένας από τους σημαντικότερους χρήστες RFID είναι τα υπουργεία άμυνας (DoD), που είναι από τους πρώτους χρήστες RFID στη λειτουργία τους ως λογιστική βοήθεια. Τα DoD έχουν ανανεώσει πρόσφατα τη δέσμευσή τους για την πλήρη εφαρμογή RFID στις διοικητικές μέριμνές τους. Αν και τα DoD δεν έχουν δέσει τις εφαρμογές RFID τους σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, αναμένεται ότι το UHF θα είναι η κυρίαρχη τεχνολογία που υιοθετείται.

Η βιομηχανία RFID είναι στα πρόθυρα μιας σημαντικής αλλαγής. Η αγορά έχει περάσει την παιδική ηλικία της και δεν υπάρχει καμία αμφιβολία ότι αυτή η τεχνολογία πρόκειται να διαμορφώσει τον τρόπο που ζούμε. Το RFID θα προσθέσει νοημοσύνη στα αντικείμενα και αυτό θα αλλάξει τον τρόπο που οι άνθρωποι αλληλεπιδρούν με αυτά. Πάντως δεν υπάρχει μόνο μια τεχνολογία RFID ικανή να ανταπεξέλθει σε όλες τις εφαρμογές. Διαφορετικές τεχνολογίες RFID θα συμπληρώνουν η μια την άλλη, και κάθε μια θα λειτουργεί έτσι ώστε να συμπληρώνει την άλλη, ταιριάζοντας με κατάλληλο τρόπο τις λειτουργίες τους.

3 RFID STANDARDS

3.1 Σκοπός και παγκόσμιες οργανώσεις τυποποίησης

Ο σκοπός της τυποποίησης είναι να καθοριστεί η αποδοτικότερη πλατφόρμα μέσω της οποίας μια βιομηχανία μπορεί να λειτουργήσει με τα RFID. Υπάρχουν διάφορες οργανώσεις που ενεπλάκησαν στη σύνταξη των προτύπων για την τεχνολογία RFID. Ειδικότερα, ο διεθνής οργανισμός για την τυποποίηση (ISO) και το EPC Global έχουν αναλάβει πολλές πρωτοβουλίες για την δημιουργία τέτοιων προτύπων.

Η ISO, που προσελκύει το παγκόσμιο ενδιαφέρον, έχει ασχοληθεί με τις διαφορετικές τεχνολογίες RFID για πολλά έτη. Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας της, ήταν μέσω των διάφορων υποομάδων μικτής Τεχνικής Επιτροπής ένα (JTC1) που είναι αρμόδια για τη σύνταξη των προτύπων για την τεχνολογία πληροφοριών.

Το 1999, διάφορα πανεπιστήμια που υποστηρίχτηκαν από τη βιομηχανία καταναλωτικών προϊόντων, διαμόρφωσαν το Auto Id Center με το σκοπό να προωθηθεί η τεχνολογία RFID. Το 2003, το Auto Id Center αναδιοργανώθηκε για να δημιουργήσει το EPC Global υπο την προστασία του UCC / EAN για να διαχειριστεί την επιχειρησιακή πλευρά της αγοράς RFID. Τα πανεπιστημιακά ιδρύματα συνεχίζουν την έρευνα και την ανάπτυξή τους για το EPC Global με τα ήδη διαμορφωμένα Auto Id εργαστήρια. Το EPC Global είναι αρμόδιο για τον καθορισμό των προδιαγραφών για όλες τις πτυχές της τεχνολογίας RFID συμπεριλαμβανομένης της τυποποίησης.

Εκτός από το ISO και το EPC Global, υπάρχουν πολλές άλλες παγκόσμιες και περιφερειακές οργανώσεις αλλά και ρυθμιστικοί οργανισμοί που ενεπλάκησαν στην τυποποίηση των RFID, όπως το AIAG, FDA and Postal.

Σε αυτό το σημείο, αρχίζουμε να ερευνούμε τη κατάσταση της τυποποίησης στη βιομηχανία RFID με εστίαση στο ISO και το EPC.

3.2 ISO

3.2.1 ISO LF συχνότητα

Η LF συχνότητα είναι η πιο παλιά υιοθετημένη τεχνολογία RFID, η οποία έχει εφαρμοστεί πιο πολύ στις κατασκευές και τις γεωργικές εφαρμογές. Έχει γίνει πολύ λίγη δουλειά για την τυποποίηση στο χώρο χαμηλής συχνότητας. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι οι περισσότερες από αυτές τις εφαρμογές ήταν σε κλειστές συνθήκες και σε ελεγχόμενα περιβάλλοντα. Στον τομέα της γεωργίας, εντούτοις, το animal tracking έχει απαιτήσει κάποια τυποποίηση. Το ISO 11784 και 11785 είναι τα δύο ξεχωριστά πρότυπα στην τεχνολογία χαμηλής συχνότητας που ήταν σε χρήση για κάποιο χρονικό διάστημα στο animal tracking.

Το ISO 11784 και 11785 σχεδιάστηκε συγκεκριμένα για τη ζωική καταδίωξη και την εργασία σε διαδοχικό. Εν συντομία, Ο ISO 11784 καθορίζει τη δομή των δεδομένων της ζωικής ετικέτας. Σε αυτά τα πρότυπα, τα ζώα μπορούν να προσδιοριστούν από τον κώδικα χώρων και τη μοναδική εθνική ταυτότητα. Υπάρχουν επίσης παραλλαγές που χρησιμοποιούν ένα κώδικα κατασκευαστών αντί του κώδικα χώρων. Το ISO 11785 ενδιαφέρεται για τις τεχνικές πτυχές της επικοινωνίας αναγνώστη-ετικετών. Υπάρχουν διάφορες ανεπάρκειες σε αυτά τα δύο πρότυπα που έχουν περιορίσει τη διαδεδομένη χρήση του αλλά αυτά έχουν αποδειχθεί αποτελεσματικά όπου εφαρμόζονται.

Η ISO έχει εντείνει τις προσπάθειές του να αναπτύξει πρότυπα για τη χαμηλή συχνότητα. Η διαδικασία ρυθμίζεται από το SC31/ WG 4 που έχει την ευθύνη να δημιουργήσει τα πρότυπα για "τον προσδιορισμό ραδιοσυχνότητας για τη διαχείριση στοιχείων". Η 18000 σειρά καλύπτει όλες τις διαφορετικές συχνότητες. Η ISO 18000-2 οριστικοποιήθηκε και δημοσιεύθηκε το 2004. Αυτά είναι τα πρότυπα που καθορίζουν τις παραμέτρους για τις επικοινωνίες Air Interface στα 135KHz, δηλαδή τη περιοχή LF. Πρέπει να σημειώσουμε ότι το EPC Global λειτουργεί παράλληλα για τη δημιουργία προτύπων και προδιαγραφών για το LF RFID.

3.2.2 ISO HF συχνότητα

Μεταξύ των τεχνολογιών RFID, η υψηλή συχνότητα έχει τα καθιερωμένα και συνήθως χρησιμοποιημένα πρότυπα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο γεγονός ότι τα 13,56 MHz είναι η συνολικά αποδεκτή συχνότητα για RFID. Η JTC1/SC17/WG8, όποια είναι η ομάδα εργασίας για τις "Contact-less κάρτες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων", άρχισε τη διαδικασία τυποποίησης για το HF RFID το 1995. Αυτή οδήγησε στο ISO 15693 και 14443, τα ευρύτατα πρότυπα RFID χρησιμοποιούμενα μέχρι σήμερα.

Το ISO 15693 δημοσιεύθηκε το 2000 καθορίζοντας τις παραμέτρους για τις vicinity RFID cards, γενικά χρησιμοποιημένο στις εφαρμογές που απαιτούν την απόσταση διαβάσματος να είναι μεγαλύτερη από 10 εκατ.. Οι προδιαγραφές έχουν οργανωθεί σε τρία χωριστά μέρη που καλύπτουν τα φυσικά χαρακτηριστικά, το Air Interface και το πρωτόκολλο επικοινωνίας.

Το ISO 14443 είναι το πρότυπο για τις vicinity RFID cards που χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές που απαιτούν την απόσταση διαβάσματος να είναι μικρότερη από 10 εκατ.. Αυτό το πρότυπο είναι οργανωμένο με τον ίδιο σχεδόν τρόπο με το 15693 καθορίζοντας παρόμοιες παραμέτρους στα διαφορετικά μέρη των προτύπων. Η κύρια διαφορά μεταξύ αυτών των δύο προτύπων είναι η προοριζόμενη εφαρμογή τους. Το ISO14443, λόγω των μικρού εύρους διαβάσματος και της ικανότητας κρυπτογράφησης, είναι καταλληλότερο για τις εφαρμογές όπου η ασφάλεια είναι μια πρωταρχικός στόχος, όπως στην ηλεκτρονική πληρωμή, στη κατάθεση και στις οικονομικές συναλλαγές. Εκτός από τα δύο πρότυπα που συζητούνται, η SC17/WG8 έχει συντάξει διάφορα άλλα πρότυπα σχετικά με τη χρήση RFID.

Αν και το ISO 15693 και 14443 είναι τα καθιερωμένα πρότυπα και έχουν λειτουργήσει καλά μέχρι τώρα, μερικοί εμπειρογνώμονες της βιομηχανίας είναι της άποψης ότι δεν αντιμετωπίζουν όλα τα προβλήματα. Η ISO άρχισε μια διαδικασία κάτω υπο την προστασία της SC31 για την τυποποίηση των RFID. Το ISO 18000-3 είναι το νέο πρότυπο για το 13,56 MHz RFID. Αυτά τα πρότυπα δημοσιεύθηκαν το 2004 μετά από 3

έτη συζήτησης. Το ISO 18000-3 είναι πιο περιεκτικό πρότυπο που έχει χτιστεί επάνω στο υπάρχοντα ISO 15693. Έχει δύο εκδόσεις, με την έκδοση 1 να είναι παρόμοια με το ISO 15693.

3.2.3 ISO UHF συχνότητα

Κινούμενοι προς τη UHF (860 MHz-956MHz) ζώνη, βλέπουμε την μεγαλύτερη συγκέντρωση ενέργειας και τα οφέλη που υπάρχουν για να δημιουργηθούν πρότυπα. Η καθυστέρηση στην ανάπτυξη των ευρέως αποδεκτών και ομοιόμορφων προτύπων είναι ένα σημαντικό εμπόδιο στις UHF επεκτάσεις των RFID. Αυτή τη στιγμή, δεν υπάρχει καμία συνολικά αποδεκτή συχνότητα μέσα στη UHF ζώνη, λόγω των περιορισμών στις διαφορετικές περιοχές του κόσμου. Συνειδητοποιώντας ότι τα RFID δεν θα έχουν πρόσβαση σε μια ομοιόμορφη παγκόσμια συχνότητα στη UHF ζώνη, η βιομηχανία έχει δεχτεί το γεγονός και έχει αρχίσει να δίνει προϊόντα που είναι είτε συγκεκριμένα για την κάθε περιοχή είτε ικανά να λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες. Στη Βόρεια Αμερική, το UHF RFID χρησιμοποιεί 915 MHz ενώ 860MHz-868MHz και 950MHz-956MHz χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη και την Ιαπωνία αντίστοιχα.

Η εργασία της ISO στα 860 - 956MHz (UHF ζώνη) έχει οδηγήσει στο ISO 18000-6, το οποίο δημοσιεύθηκε το 2004. Αυτό το πρότυπο καθορίζουν τις παραμέτρους για το Air Interface και την επικοινωνία. Όπως στην περίπτωση άλλων προτύπων της σειράς 18000, το μέρος 6 καλύπτει όλες τις τεχνικές πτυχές των επικοινωνιών RFID με μεγάλη λεπτομέρεια. Πάλι, η ISO και το EPC Global κινούνται σε χωριστή, εν τούτοις παράλληλη πορεία στην τυποποίηση της UHF RFID. Το EPC Global είναι πολύ κοντά στην επικύρωση και την έκδοση των UHF προτύπων του, την κατηγορία 1 G2, εν αναμονή της επίλυσης των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Ευρέως αναμένεται ότι το EPC Global θα παρουσιάσει την κατηγορία του 1 G2 πρότυπου στο ISO για να την κάνει παγκόσμιο πρότυπο.

Όπως αναφέρεται ανωτέρω, η σειρά 18000 καθορίζει τις παραμέτρους του air interface για τις διαφορετικές συχνότητες στα τμήματα 2-7 και στο τμήμα 1 καλύπτει τις γενικές

παραμέτρους κοινές παντού. Επιπλέον έχουν οριστικοποιηθεί και δημοσιευθεί τα ISO/IEC 15961, 15962 και 15963. Το ISO/IEC 15691 καθορίζει τις παραμέτρους και τις εντολές για την επικοινωνία με τα προγράμματα εφαρμογών ενώ το ISO/IEC 15962 εξετάζει την επεξεργασία των στοιχείων και της παρουσίασής τους στο tag RF και την αρχική συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από την ετικέτα RF. Το ISO/ IEC 15963 εξετάζει το μοναδικό κώδικα προσδιορισμού (UID) και περιγράφει το σχέδιο αρίθμησης για τις ετικέτες.

3.2.4 Γενικός πίνακας με όλα τα πρότυπα της ISO

ISO Standard	Title	Status
ISO 11784	Radio frequency identification of animals -- Code structure	Published standard - 1996
ISO 11785	Radio frequency identification of animals -- Technical concept	Published Standard - 1996
ISO/IEC 14443	Identification cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Proximity cards	Published Standard 2000
ISO/IEC 15693	Identification cards - Contactless integrated circuit(s) cards - Vicinity cards	Published Standard 2000
ISO/IEC 18001	Information Technology - AIDC Techniques - RFID for Item Management - Application Requirement Profiles	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-1	Generic Parameters for Air Interface Communication for Globally Accepted Frequencies	Published Standard 2004
ISO/IEC 18000-2	Parameters for Air Interface Communications below 135KHz	Published Standard 2004
ISO/IEC	Parameters for Air Interface Communications at	Published Standard

18000-3	13.56 MHz	2004
ISO/IEC 18000-4	Parameters for Air Interface Communications at 2.45GHz	Final Draft International Standard
ISO/IEC 18000-6	Parameters for Air Interface Communications at 860-930 MHz	Published Standard 2004
ISO/IEC 15961	RFID for Item Management - Data protocol: Application interface	Published Standard 2004
ISO/IEC 15962	RFID for Item Management - Protocol: Data encoding rules and logical memory functions	Published Standard 2004
ISO/IEC 15963	RFID for Item Management - Unique Identification of RF Tag	Final Draft International Standard

3.3 EPC Global

Η αποστολή του EPC Global είναι να προσδιορίσει κάθε στοιχείο με έναν μοναδικό ηλεκτρονικό κώδικα προϊόντων (EPC). Ένα παγκόσμιο δίκτυο θα στηθεί για να ταυτοποιήσει κάθε στοιχείο σε όλη την αλυσίδα ανεφοδιασμού. Ένα μεγάλο ποσό πόρων έρευνας και ανάπτυξης έχει επενδυθεί στη δημιουργία της προδιαγραφής και της τυποποίησης των ετικετών EPC και της απαραίτητης υποδομής. Αν και οι προσπάθειες της Global EPC δεν περιορίζονται στο UHF, εκεί εστιάζεται η προσπάθειά της.

3.3.1 UHF Class 0 και 1

Το EPC Global μέσω του ερευνητικού της λέντρου, των Auto ID Labs, έχει καθορίσει τις προδιαγραφές για διαφορετικές κατηγορίες ετικετών EPC. Αυτήν την περίοδο, η κατηγορία 0 και η κατηγορία 1 ετικετών είναι εμπορικά διαθέσιμες. Η κατηγορία των 0

EPC taags έχουν ένα προγραμματισμένο κώδικα 96 μπιτ ενώ η κατηγορία 1 διευκολύνει τους προγραμματίσιμους κώδικες χρηστών. Το EPC Global έχει προτείνει άλλες κατηγορίες ετικετών EPC που παρέχουν μνήμη χρηστών πέρα από τον κώδικα ID. Έχει δημιουργήσει επίσης τις λεπτομερείς προδιαγραφές για τη δομή του κώδικα 96-bit αρκετά εύκαμπτο να ενσωματώσει άλλα πρότυπα κωδικοποίησης αυτήν την περίοδο για χρήση στην αλυσίδα ανεφοδιασμού. Το 96-bit EPC παρέχει τους unique identifiers για 268 εκατομμύρια επιχειρήσεις. Κάθε κατασκευαστής μπορεί να έχει 16 εκατομμύρια object classes και 68 δισεκατομμύριο αύξοντες αριθμούς σε κάθε κατηγορία. Υπάρχουν νέα σχέδια αρίθμησης έχουν εισαχθεί για τα 128-bit και 256-bit serial numbers για να προσαρμόσουν στα πρότυπα προσδιορισμού εξόδου.

3.3.2 Περιγραφή δικτύων EPC

Το δίκτυο EPC, ή UCCNET όπως ονομάστηκε πρόσφατα, θα ακολουθήσει τα EPC tagged αντικείμενα καθώς κινούνται μέσω της αλυσίδας ανεφοδιασμού από την παραγωγή στη κατανάλωση.

Περιγραφή δικτύων EPC:

- Το ONS (Object Naming Services) είναι ανάλογο με το NDS σε ένα τυπικό δίκτυο. Κάθε ετικέτα EPC είναι συνδεδεμένη με τα δεδομένα κάθε στοιχείου μέσω ενός τοπικού δικτύου ή του Ιστού
- Το Savant είναι η τεχνολογία λογισμικού που χρησιμεύει ως το νευρικό σύστημα για τη ροή διαχείρισης των στοιχείων
- Η Physical Markup Language (PML) είναι μια υπο- γλώσσα XML που έχει χαρακτηριστεί ως η τυποποιημένη πλατφόρμα ανάπτυξης για το δίκτυο EPC

Η βιομηχανία RFID κινείται γρήγορα για να ενισχύσει τα τρέχοντα πρότυπα και να δημιουργήσει τα νέα που απαιτούνται για την παγκόσμια εφαρμογή της τεχνολογίας.

Υπάρχουν ιδιαίτερες προσπάθειες που διοχετεύονται προς αυτόν τον στόχο και η διαδικασία τυποποίησης μπορεί σύντομα να προφθάσει τις προόδους σε άλλες πτυχές της βιομηχανίας. Η ISO είναι η σφαιρική αρχή για την τυποποίηση και το EPC Global είναι μια σημαντική δύναμη στην αγορά RFID με τη μεγάλη υποστήριξη της καταναλωτικής βιομηχανίας. Αν και είναι δυνατό για αυτές τις δύο οργανώσεις να συνεργαστούν, μερικοί θεωρούν ότι θα βοηθούσε περισσότερο ο ανταγωνισμός παρά η συνεργασία στην τυποποίηση.

3.3.3 Γενικός πίνακας με όλα τα EPC πρότυπα

EPC Global Specifications	
EPC Tag Data Standards	Specific encoding schemes for a serialized version of the EAN.UCC Global Trade Item Number (GTIN®), the EAN.UCC Serial Shipping Container Code (SSCC®), the EAN.UCC Global Location Number (GLN®), the EAN.UCC Global Returnable Asset Identifier (GRAI®), the EAN.UCC Global Individual Asset Identifier (GIAI®), and a General Identifier (GID).
UHF Class 0 Specifications	Communications interface and protocol for 900 MHz Class 0
UHF Class 1 Specifications	Communications interface and protocol for 860 - 930 MHz Class 1
UHF Class 1, Generation 2 Specifications	Communications interface and protocol for 860 - 930 MHz, built upon Class 1
HF Class 1 Specifications	Communications interface and protocol for 13.56 MHz Class 1
Reader Protocol	Communications messaging and protocol between tag readers and EPC compliant software applications

Savant Specification	Specifications for services Savant performs for application requests within the EPCglobal Network
Object Name Service Specification	Specifications for how the ONS is used to retrieve information associated with a Electronic Product Code (EPC)
Physical Markup Language Core Specification	Specifications for a common vocabulary set to be used within the EPC global Network to provide a standardized format for data captured by readers

4. Singulation Protocol

Ένας RFID reader επικοινωνεί κάθε φορά με ένα και μοναδικό RFID tag. Στην περίπτωση που περισσότερα από ένα RFID tag ανταποκριθούν σε έναν RFID reader τότε έχουμε συγκρούσεις, γεγονός που συμβαίνει για παράδειγμα στις υπεραγορές με τον αυτόματο έλεγχο των προϊόντων.

Σε μια τέτοια περίπτωση ο reader δεν μπορεί να διαβάσει με ακρίβεια τις πληροφορίες που στέλνονται από τα tags. Το Singulation Protocol εξασφαλίζει την επικοινωνία του reader με ένα και μοναδικό tag κάθε φορά. Τα συστήματα RFID τυπικά λειτουργούν σε συχνότητες είτε 13.56 MHz είτε 915 MHz όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Τα tags που λειτουργούν στην περιοχή των 915 MHz συνήθως βασίζονται στο tree-walking singulation protocol ενώ τα tags που λειτουργούν στην περιοχή των 13.56 MHz χρησιμοποιούν για singulation το ALOHA protocol.

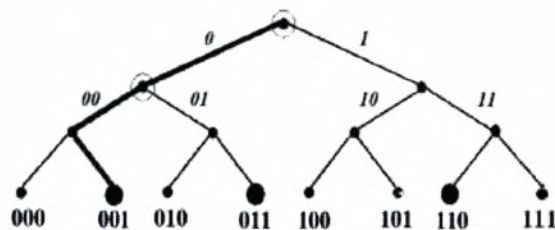
4.1 Tree-walking singulation Protocol

Στη συνέχεια θα επικεντρωθούμε στο Tree-walking Singulation Protocol αφού το πρωτόκολλο αυτό είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο στην πράξη και υποστηρίζει τις πιο ευέλικτες μεθόδους αποφυγής συγκρούσεων.

Ο αλγόριθμος tree-walking singulation δίνει την δυνατότητα σε ένα RFID tag να ταυτοποιήσει τους σειριακούς αριθμούς κοντινών tags ατομικά μέσω διαδικασίας bit-by-bit ερωτήσεων , η οποία μοιάζει με σε-βάθος αναζήτηση (depth first search) ενός δυαδικού δέντρου. Υποθέτουμε ότι τα tags σε ένα δεδομένο σύστημα δέχονται μοναδικούς αναγνωριστές κάποιων προκαθορισμένων bit-length k ($k=64, 96, 128$). Το σύνολο όλων των πιθανών k -bit αναγνωριστών μπορούν να παρομοιαστούν ως τα φύλλα ενός κανονικού δυαδικού δέντρου βάθους k . Θεωρούμε τα κλαδιά ενός δεδομένου κόμβου του δυαδικού δέντρου με το αριστερό να έχει ετικέτα '0' και το δεξί '1'. Έτσι ένας κόμβος σε βάθος d μπορεί να ταυτοποιηθεί μοναδικά από ένα δυαδικό πρόθεμα $B=b_1b_2\dots b_d$,το οποίο απεικονίζει την σειρά των ετικετών των κλαδιών που προσπελούνται σε ένα μονοπάτι από την ρίζα στον κόμβο. Επομένως κάθε ένα από τα 2^k φύλλα του δέντρου έχουν ένα μοναδικό k -bit string και απεικονίζουν ένα διακριτό πιθανό σειριακό αριθμό ενός tag

Ο αλγόριθμος tree-walking είναι μια περιοδικά επαναλαμβανόμενη σε-βάθος αναζήτηση η οποία εκτελείται από ένα reader με τον ακόλουθο τρόπο :

Αναθέτει στο υποδέντρο ενός κόμβου να δηλώσει όλους τους απογόνους στο δέντρο και ο reader αρχικοποιεί τον αλγόριθμο tree-walking στην ρίζα του δέντρου. Ξεκινώντας από ένα δεδομένο κόμβο $B=b_1b_2\dots b_d$,ο reader ρωτά όλα τα tags που έχουν σειριακούς αριθμούς στα φύλλα του αντίστοιχου υποδέντρου . Στη συνέχεια τα tags που ερωτούνται απαντούν στον reader με το $d+1$ bit του σειριακού τους αριθμό. Όταν εντοπισθεί σύγκρουση ο reader αρχίζει τις ερωτήσεις από το παιδί του υποδέντρου όπου προκλήθηκε το πρόβλημα. Εάν τα tags απαντήσουν όλα μαζί με το ίδιο bit b ,δηλαδή αν όλα βρίσκονται στο ίδιο υποδέντρο , τότε ο reader αρχίζει ξανά τον αλγόριθμο από το κόμβο $B||b$ και αγνοεί το υπόλοιπο δέντρο. Όταν ο αλγόριθμος φτάσει σε ένα φύλλο (σε βάθος k) ,δίνει ως έξοδο την εκάστοτε k -bit ακολουθία, η οποία είναι ο σειριακός αριθμός του tag που μόλις διάβασε. Η πλήρης έξοδος είναι μια λίστα του ID αριθμού όλων των tags κάποιου εύρους.



Σχήμα 4.1

5. Μοντέλο matlab προσομοίωσης λειτουργίας συστήματος RFID

5.1 Αμοιβαία Επαγωγή

Η σύζευξη δύο ηλεκτρικών κύκλωμα μέσω του μαγνητικού πεδίου είναι η φυσική αρχή επάνω στην οποία είναι βασισμένα τα συστήματα RFID

5.1.1 Νόμος του Faraday

Σύμφωνα με το νόμο του Faraday μία ΗΕΔ επάγεται σε ένα κύκλωμα οποτεδήποτε η μαγνητική ροή μέσω του κυκλώματος μεταβάλλεται με το χρόνο. Αν η μεταβολή της ροής προκαλείται από μεταβαλλόμενο ρεύμα σε ένα δεύτερο κύκλωμα, μπορούμε να εκφράσουμε την επαγομένη ΗΕΔ συναρτήσει του μεταβαλλόμενου ρεύματος αντί της ροής. Στο σχήμα 222 δείχνει την τομή δύο πηνίων από σύρμα που θα μπορούσαν να είναι οι κεραίες του Reader και του transponder. Έτσι Όταν i_1 διαρρέει το πηνίο 1, δηλαδή την κεραία του Reader, δημιουργεί μαγνητικό πεδίο B , ένα μέρος του οποίου διαπερνά το πηνίο 2 δηλαδή την κεραία του transponder. Συμβολίζουμε την μαγνητική ροή στο πηνίο 2 από το μαγνητικό πεδίο του πηνίου 1 ως Φ_{B2} . Όταν το i_1 μεταβάλλεται, η μεταβολή του Φ_{B2} προκαλεί ΗΕΔ E_2 στο πηνίο 2

$$E_2 = - N_2 \frac{d\Phi_{B2}}{dt}$$

Όπου N_2 ο αριθμός σπειρών

Θα μπορούσαμε να αναπαραστήσουμε την αναλογία των Φ_{B2} και i_1 σαν γραμμική εξίσωση με μια σταθερά αλλά συνήθως συμπεριλαμβάνεται στη σχέση και ο αριθμός των σπειρών N_2 . Εισάγοντας την σταθερά αναλογίας M_{21} έχουμε

$$N_2 \Phi_{B2} = M_{21} i_1$$

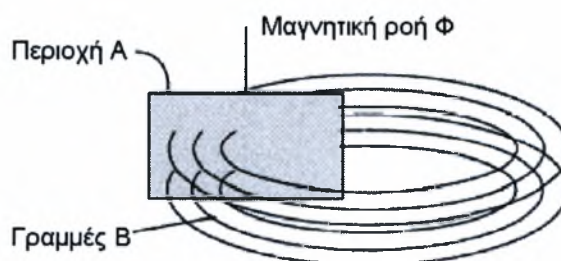
κι έτσι φτάνουμε στη σχέση

$$E_2 = - M_{21} \frac{di_1}{dt}$$

Η σταθερά M_{21} ονομάζεται αμοιβαία επαγωγή των πηνίων και προκύπτει ότι $M_{21} = M_{12} = M$. Η μονάδα αμοιβαίας επαγωγής στο SI ονομάζεται henry

Η αμοιβαία επαγωγή M_{21} του πηνίου 2 σε σχέση με το πηνίο 1 μπορεί να υπολογιστεί μέσω της σχέσης

$$M_{21} = \oint_{A2} \frac{B_2(I_1)}{I_1} dA_2$$



Σχήμα 5.1

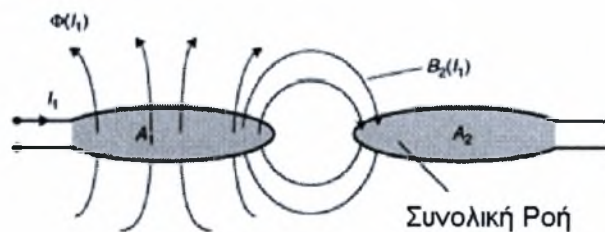
Όπου A_2 το εμβαδόν του κυκλικού δίσκου που σχηματίζουν οι σπείρες του δεύτερου πηνίου, μέσα από τις οποίες περνά το μαγνητικό πεδίο. Συνεπώς

$$M_{21} = \frac{B_2(I_1) \cdot N_2 \cdot A_2}{I_1}$$

Όμως το $B_2(I_1)$ μπορεί να αντικατασταθεί από το $\mu_0 H(I_1)$ όπου μ_0 η μαγνητική διαπερατότητα και H η ισχύς του μαγνητικού πεδίου

Επειδή $H = \frac{I \cdot N \cdot R^2}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}}$, ο τύπος παίρνει την τελική του μορφή

$$M_{21} = \frac{\mu_0 \cdot N_1 \cdot R_1^2 \cdot N_2 \cdot R_2^2 \cdot \pi}{2\sqrt{(R^2 + x^2)^3}} \quad (\text{σχέση 5.1}) \quad \text{αφού αντικαταστήσαμε το } A_2 \text{ με } R_2^2 \pi.$$



Σχήμα 5.2

5.1.2 Επαγωγή L ή αυτεπαγωγή ή συντελεστής αυτεπαγωγής

Όταν υπάρχει ρεύμα σε ένα οποιοδήποτε κύκλωμα, όπως στο κύκλωμα του Reader ή του transponder, αυτό το ρεύμα δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο που διαπερνά το ίδιο το κύκλωμα και μεταβάλλεται όταν μεταβάλλεται το ρεύμα. Κάθε κύκλωμα που διαρρέεται από ένα μεταβαλλόμενο ρεύμα έχει μια επαγόμενη ΗΕΔ που προέρχεται από τη μεταβολή του δικού του μαγνητικού πεδίου. Η ΗΕΔ αυτής της μορφής ονομάζεται ΗΕΔ αυτεπαγωγής. Αν θεωρήσουμε ένα πηνίο με N σπείρες, όπως η κεραία του Reader, που διαρρέεται από ρεύμα i , ως αποτέλεσμα έχουμε μια μαγνητική ροή Φ_B να διαπερνά κάθε σπείρα. Ορίζεται επαγωγή L του κυκλώματος ή αυτεπαγωγή ή συντελεστής αυτεπαγωγής το

$$L = \frac{N\Phi_B}{i},$$

Εάν Φ_B και i μεταβάλλονται με το χρόνο, τότε έχουμε

$$N \frac{N\Phi_B}{dt} = L \frac{di}{dt} \text{ και}$$

$$E = -L \frac{di}{dt}$$

Εάν υποθέτουμε ότι η διάμετρος d του καλωδίου που χρησιμοποιείται είναι πολύ μικρή σε σχέση με τη διάμετρο D της σπείρας του πηνίου ($d/D < 0.0001$) με μια μικρή προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο παρακάτω τύπος:

$$L = N^2 \mu_0 R \ln\left(\frac{2R}{d}\right) \quad (\text{σχέση 5.2})$$

όπου το R είναι η ακτίνα του βρόχου των σπειρών και το d είναι η διάμετρος του καλωδίου που χρησιμοποιείται.

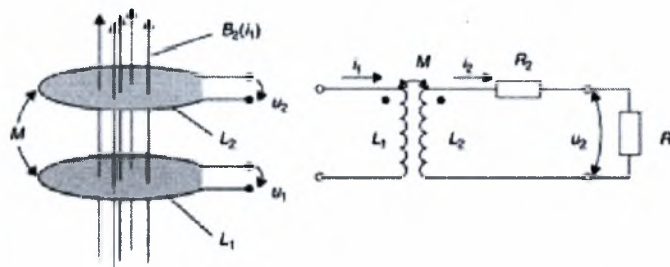
5.1.3 Συντελεστής σύζευξης k .

Η αμοιβαία αυτεπαγωγή είναι μια ποσοτική περιγραφή της σύζευξης ροών δύο αγωγών. Ο συντελεστής σύζευξης k εισάγεται έτσι ώστε να μπορούμε να κάνουμε μια ποιοτική πρόβλεψη για τη σύζευξη των αγωγών ανεξαρτήτως των γεωμετρικών τους διαστάσεων. Ισχύει:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (\text{σχέση 5.3}) \text{ και παίρνει τιμή } 0 \leq k \leq 1.$$

5.1.4 Συντονισμός - εξίσωση Thomson

Η τάση u_2 που προκαλείται στις σπείρες του transponder χρησιμοποιείται για να αποτελέσει την πηγή ηλεκτρικού ρεύματος για το μικροτσίπ του παθητικού αναμεταδότη



Σχήμα 5.3

Για να επιτύχουμε σημαντική βελτίωση στην αποδοτικότητα του ισοδύναμου κυκλώματος του σχήματος 523542, ένας πρόσθετος πυκνωτής C_2 συνδέεται παράλληλα με το πηνίο L_2 για να διαμορφώσει να παράλληλο κύκλωμα με μια συχνότητα που αντιστοιχεί στη συχνότητα του εν λόγω συστήματος RFID. Η συχνότητα του παράλληλου κυκλώματος μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση Thomson:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2 \cdot C_2}}, \text{ κι έτσι μπορούμε να διαλέξουμε τον πυκνωτή } C \text{ να έχει την τιμή που}$$

δίνεται από την σχέση

$$C = \frac{1}{(2\pi \cdot f_0)^2 L} \quad (\text{σχέση 5.4}).$$

5.1.5 Τάση στον transponder

Αν μια αντίσταση u_{Q2} αναπτύσσεται στο πηνίο L_2 τότε μια τάση u_2 μπορεί να μετρηθεί παράλληλα στην αντίσταση R_L και θα έχει την τιμή

$$u_2 = \frac{u_{Q2}}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2 \right)}$$

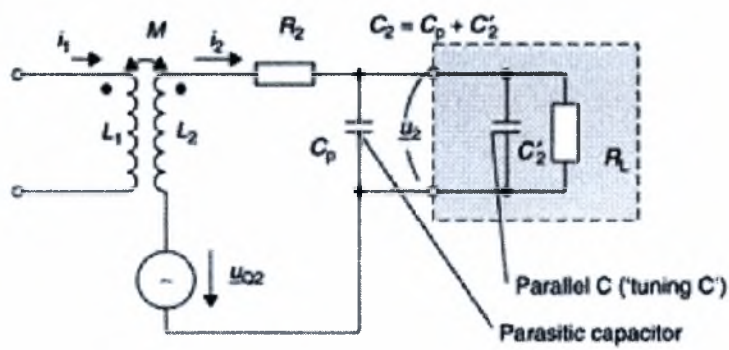
Όπου $\omega = 2\pi f_0$

Αντικαθιστώντας $u_{Q2} = j\omega M i_1 = \omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1$

Και λόγω των σχέσεων 5.1 έως 5.4 έχουμε

$$u_2 = \frac{\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1}{1 + (j\omega L_2 + R_2) \cdot \left(\frac{1}{R_L} + j\omega C_2 \right)}, \text{ ή}$$

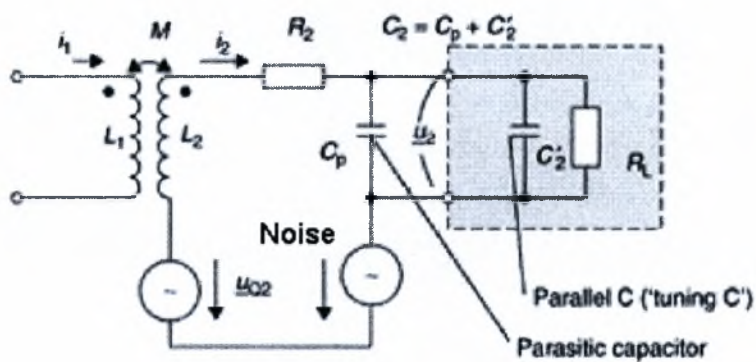
$$u_2 = \frac{\omega \cdot k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \cdot i_1}{\sqrt{\left(\frac{\omega L_2}{R_L} + \omega \cdot R_2 \cdot C_2 \right) \cdot \left(1 - \omega^2 \cdot L_2 \cdot C_2 + \frac{R_2}{R_L} \right)}}$$



Σχήμα 5.4

5.2 Προσθήκη θορύβου

Ο θόρυβος προέρχεται από το περιβάλλον που είναι εγκατεστημένο το σύστημα RFID προσομοιώνεται στο μοντέλο μέσω μιας πηγής τάσης σε σειρά με το πηνίο L_2 .



Σχήμα 5.5

Το μέγιστο πλάτος του λευκού Γκαουσιανού Θορύβου που προσθέσαμε στο σύστημα είναι

$$V_N = \frac{V_2}{10^{(SNR/20)}}$$

Και για $SNR = 20$ db ισούται με το άνα δέκατο της θεωρητικής τάσης που θα αναπτυσσόταν σε ιδανικές συνθήκες στο σημείο του transponder.

Έως τώρα γνωρίζουμε την τάση που μπορεί να αναπτυχθεί σε κάθε σημείο που απέχει συγκεκριμένη απόσταση από τον Reader και τη μέγιστη τιμή του θορύβου που αναπτύσσεται σε αυτή την απόσταση.

5.3 Ελάχιστη τάση λειτουργίας transponder

Ο παρακάτω τύπος μας δίνει την ελάχιστη τιμή που θα πρέπει να αναπτυχθεί στον transponder για να λειτουργήσει κανονικά και να απαντήσει στον reader.

$$U_{min} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\omega^2 \cdot \left(\frac{L_2}{R_L} + \frac{R_2}{(\omega^2 \cdot L_2)^2} + \left(\frac{R_2}{R_L} \right)^2 \right)}{\omega \cdot m_0 \cdot 2\pi \cdot r \cdot H_m}}}$$

Παίρνοντας τη διαφορά της τάσης που μπορεί να αναπτυχθεί σε κάποιο σημείο που απέχει συγκεκριμένη απόσταση από τον Reader και της ελάχιστης τιμής που θα πρέπει να αναπτυχθεί στον transponder για να λειτουργήσει κανονικά έχουμε στη διάθεσή μας μια τιμή V_{dv} . Αυτή εκφράζει ένα ποσό πλάτους τάσης που, στην περίπτωση πάντα των ιδανικών συνθηκών, αν είναι θετικό ο transponder απαντά κι αν είναι μικρότερο του μηδενός ο transponder δεν έχει δεχτεί την απαραίτητη ενέργεια για να απαντήσει.

5.4 Πιθανότητα απάντησης του Reader

Φτάσαμε λοιπόν στο σημείο να έχουμε στη διάθεσή μας τις τάσεις V_2 , V_N , V_{\min} , V_{dv}

Για τον transponder που απέχει συγκεκριμένη απόσταση από τον reader θα συνδυάσουμε στη συνέχεια με κατάλληλο τρόπο τις παραπάνω τάσεις και με τη βοήθεια της γκαουσιανής κατανομής θα υπολογίσουμε την πιθανότητα ο reader να παίρνει απάντηση από τον transponder.

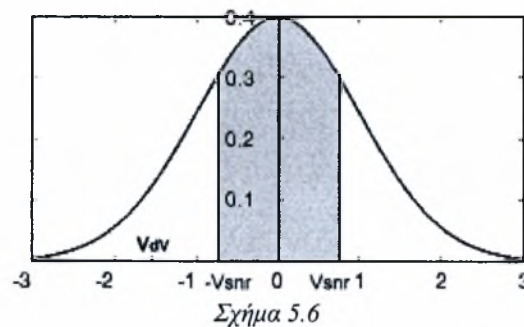
5.4.1 Cumulative Distribution Function CDF

Δηλαδή χρησιμοποιούμε τον τύπο

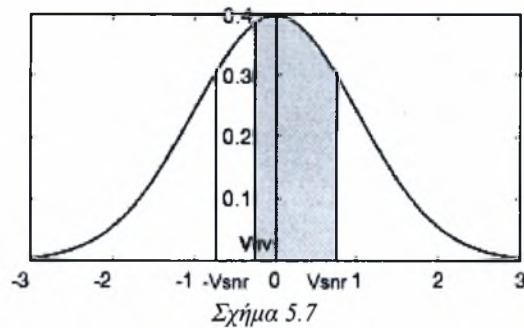
$$p = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{\frac{-(t-\mu)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Με $\mu = 0$ και $\sigma = 1$. Τα όρια ολοκλήρωσης a , b έχουν διαστάσεις τάσης και παίρνουν τιμές ανάλογα με τη θέση του V_{dv} στο άξονα x που εκφράζει το πλάτος της τάσης θορύβου. Το εμβαδόν που περικλείει την συνάρτηση με τα όρια ολοκλήρωσης αποτελεί την πιθανότητα απάντησης του Reader όπως φαίνεται και στα σχήματα 5.6 έως 5.8.

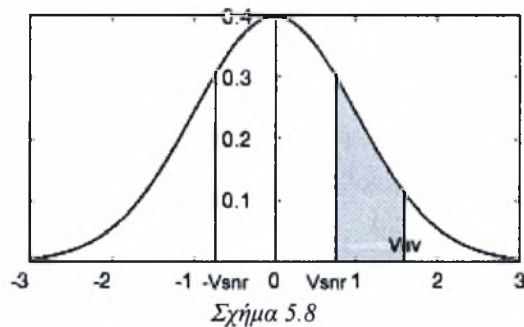
Συγκεκριμένα αν $V_{dv} < -V_N$ τότε $a = -V_N$, $b = V_N$



αν $V_{dv} > -V_N$ και $V_{dv} < V_N$ τότε $a = V_{dv}$, $b = V_N$



και τέλος αν $V_{dv} > V_N$ τότε $a = V_N$, $b = V_{dv}$



Αν επαναλάβουμε τους παραπάνω υπολογισμούς για όλους τους readers, που στην προσομοίωσή μας είναι τέσσερις, θα έχουμε τελικά για κάθε transponder που βρίσκεται σε συγκεκριμένη θέση τέσσερις τιμές για την πιθανότητα απάντησης στον κάθε reader. Έτσι το μοντέλο μας είναι έτοιμο να δεχτεί την θέση του transponder και να μας δώσει τις τέσσερις τιμές για την κάθε πιθανότητα.

Πρέπει να σημειώσουμε στο σημείο αυτό ότι σε πραγματικές συνθήκες, δηλαδή σε μια αποθήκη τα παραπάνω ποσοστά θα υπολογίζονται άμεσα από τους readers και το παραπάνω μοντέλο φαντάζει άχρηστο. Αυτό όμως δεν ισχύει αφού μπορούμε να το χρησιμοποιήσουμε κατά την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου με τους transponders γνωστής θέσης, γλυτώνοντας έτσι αρκετό χρόνο από την αναμονή του υπολογισμού των ποσοστών με το σφάλμα που θέλουμε.

6. Αρχιτεκτονική συστήματος

6.1 Δομή συστήματος.

Το σύστημα αποτελείται από τέσσερα μέρη

- α. Την διεπαφή.
- β. Την διάταξη εκτίμησης πιθανότητας.
- γ. Το νευρωνικό δίκτυο.
- δ. Την διάταξη εντοπισμού.

Κάθε μέρος επικοινωνεί με τα υπόλοιπα με τρόπο που θα εξηγήσουμε στην ενότητα 6.2. Ειδικότερα για κάθε μέρος, η διεπαφή είναι το λογισμικό το οποίο μέσω ενός διακομιστή επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ συστήματος και αναγνωστών. Η διεπαφή ορίζει ποια tags θα αναγνωστούν από τους readers και συγκεντρώνει τα δεδομένα που προκύπτουν από κάθε ζεύγος αναγνώστη – tag σε διανύσματα, για να τα στείλει στη διάταξη εκτίμησης πιθανότητας.

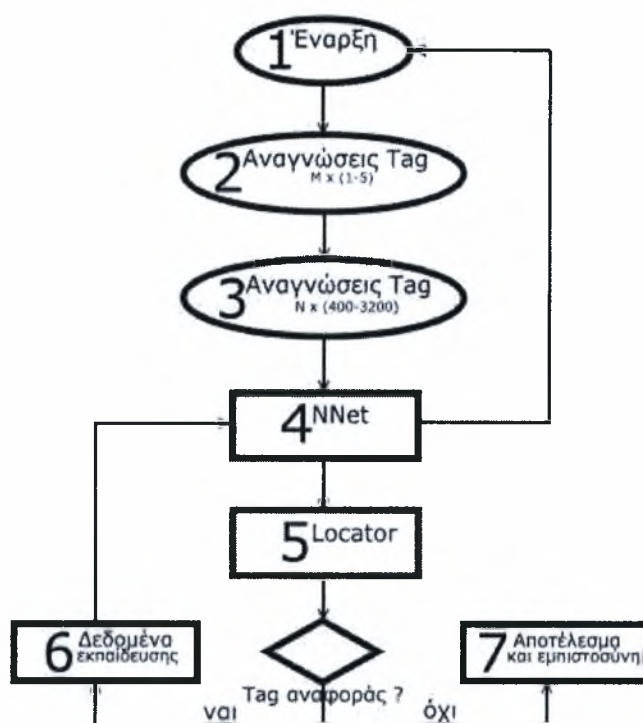
Η διάταξη εκτίμησης πιθανότητας λαμβάνει τα παραπάνω διανύσματα, υπολογίζει τη πιθανότητα επιτυχούς επικοινωνίας για το κάθε ζεύγος αναγνώστη – tag και στέλνει τα αποτελέσματα στο νευρωνικό δίκτυο.

Το νευρωνικό δίκτυο δέχεται σαν είσοδο την πιθανότητα επιτυχούς επικοινωνίας για κάθε ζεύγος αναγνώστη – tag, υπολογίζει την απόσταση που έχουν μεταξύ τους και τις στέλνει στην διάταξη εντοπισμού θέσης

Η διάταξη εντοπισμού θέσης υπολογίζει την θέση του tag στο χώρο με βάση τις αποστάσεις που υπολογίστηκαν για τον κάθε reader.

6.2 Λειτουργία συστήματος.

Η λειτουργία του συστήματος περιγράφεται από το παρακάτω διάγραμμα καταστάσεων



Αρχικά βρισκόμαστε στη κατάσταση 1 “Έναρξη” όπου εκεί όλοι οι αναγνώστες είναι σε αδράνεια. Υπάρχουν δύο περιπτώσεις ματάβασης στην κατάσταση 2. Μια σε περίπτωση αιτήματος ανάγνωσης tag προερχόμενο από κάποιο χρήστη του συστήματος και η άλλη από αίτημα ανάγνωσης tag προερχόμενο από προγραμματισμένη λειτουργία του συστήματος για την εκπαίδευσή του.

Μετα το αίτημα μεταβαίνουμε στην κατάσταση 2 “Αναγνώσεις tag”. Εκεί γίνεται μια προσπάθεια να προσδιορίσουμε αν το tag βρίσκεται στην ακτίνα δράσης κάποιου reader ή όχι. Συγκεκριμένα γίνονται πέντε προσπάθειες ανάγνωσης του tag από τον κάθε διαθέσιμο reader και σε περίπτωση που υπάρξει θετική απάντηση δημιουργείται μια λίστα με αυτούς τους readers που έλαβαν επιτυχώς απάντηση. Αυτοί θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη κατάσταση.

Η επόμενη κατάσταση 3 είναι προέκταση της προηγούμενης και τρέχει πάντα μετά από αυτή. Εκεί το σύστημα παίρνει έναν έναν τους αναγνώστες της λίστας που είχαμε κατασκευάσει και πραγματοποιεί έναν μεγάλο αριθμό προσπαθειών ανάγνωσης του tag, 400-3200, ανάλογα με την συχνότητα λειτουργίας και την επιθυμητή ακρίβεια. Τα αποτελέσματα σώζονται σε ένα διάνυσμα δυαδικών τιμών όπου η τιμή 1 σημαίνει επιτυχία και τιμή 0 αποτυχημένη απόπειρα ανάγνωσης. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται για όλους τους αναγνώστες της λίστας και μετά το πέρας της παραπάνω διαδικασίας τα υπολογισθέντα διανύσματα προωθούνται στην διάταξη εκτίμησης πιθανότητας η οποία υπολογίζει την πιθανότητα επιτυχούς ανάγνωσης του tag από τον κάθε αναγνώστη. Οι πιθανότητες επιτυχίας, μια για κάθε reader, οδηγούνται στο νευρωνικό δίκτυο και το σύστημα μεταβαίνει στην επόμενη κατάσταση.

Η κατάσταση 4 ανάλογα με το είδος του tag μπορεί να λειτουργεί για την εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου είτε για την παραγωγή αποτελέσματος, δηλαδή μήκος απόστασης, από αυτό. Συγκεκριμένα αν φτάσουμε στην κατάσταση 4 από την 3 τα δεδομένα εισόδου του νευρωνικού είναι οι πιθανότητες επιτυχίας και η έξοδος είναι οι αποστάσεις μεταξύ του tag από τους readers της λίστας. Οι αποστάσεις αποστέλλονται στην κατάσταση 5 “Locator” για τον υπολογισμό της πιθανής θέσης του tag. Στην περίπτωση που οδηγηθούμε στην κατάσταση 4 από την 6 “Δεδομένα εκπαίδευσης”, τότε εκτός από της πιθανότητες επιτυχούς ανάγνωσης στο νευρωνικό οδηγούνται και τα αντίστοιχα διανύσματα σφάλματος τα οποία χρησιμοποιούνται από το νευρωνικό δίκτυο για την προσαρμογή των βαρών του και το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση εκκίνησης.

Στην κατάσταση 6 “Δεδομένα εκπαίδευσης”, επειδή το tag είναι αναφοράς, δηλαδή γνωστής θέσης, ο υπολογισμός των αποστάσεων του από τους readers γίνεται με βάση τη γνωστή του θέση και τα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την προσαρμογή των βαρών του νευρωνικού δικτύου.

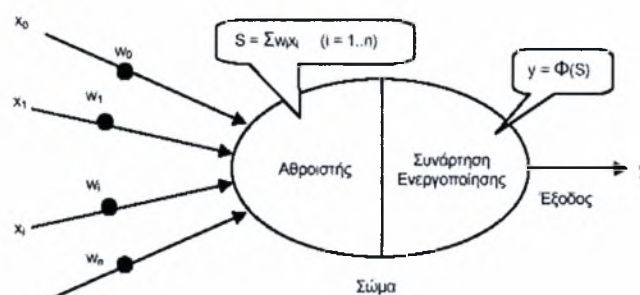
Η κατάσταση 7 τέλος παράγει τη θέση του tag αν αυτό δεν αναφοράς και την εμπιστοσύνη του αποτελέσματος.

7. Νευρωνικό δίκτυο

7.1 Μοντέλο τεχνητού νευρώνα.

7.1.1 Αθροιστής - συνάρτηση ενεργοποίησης

Ένας τεχνητός νευρώνας δέχεται κάποια σήματα εισόδου που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι οι πιθανότητες απάντησης από τους readers p_1, p_2, p_3, p_4 . Κάθε τέτοιο σήμα εισόδου μεταβάλλεται από μια τιμή βάρους w_i (weight) που μπορεί να είναι αρνητική ή θετική. Το σώμα του τεχνητού νευρώνα χωρίζεται σε δυο μέρη, τον αθροιστή (sum) ο οποίος προσθέτει τα επηρεασμένα από τα βάρη σήματα εισόδου και παράγει την ποσότητα S , και την συνάρτηση ενεργοποίησης ή κατωφλίου (activation ή threshold function), ένα μη γραμμικό φίλτρο το οποίο διαμορφώνει την τελική τιμή του σήματος εξόδου y , (που στην εργασία είναι τιμές απόστασης) σε συνάρτηση με την ποσότητα S .



Σχήμα 7.1

7.1.2 Μάθηση και ανάκληση

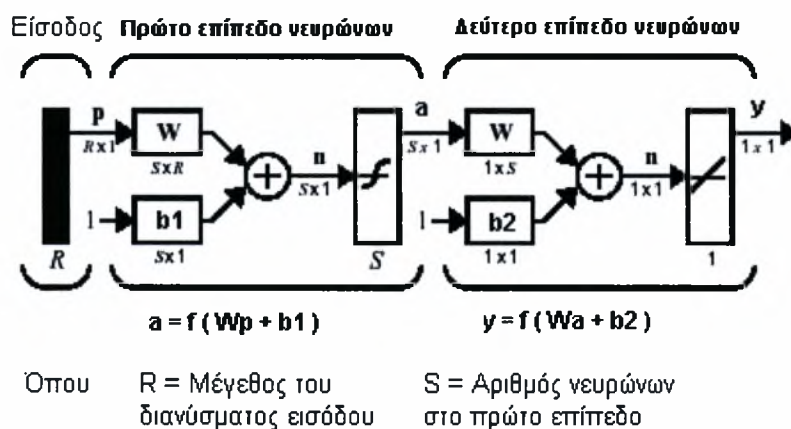
Τα Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα πραγματοποιούν δύο βασικές λειτουργίες, την μάθηση και την ανάκληση. Η μάθηση είναι η διαδικασία της τροποποίησης της τιμής των βαρών του δικτύου έτσι ώστε όταν δοθεί συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου να παραχθεί συγκεκριμένο εξόδου. Η διαδικασία αυτή είναι επίσης γνωστή και ως μάθηση. Η ανάκληση είναι η διαδικασία του υπολογισμού ενός διανύσματος εξόδου όταν δοθεί συγκεκριμένο διάνυσμα εισόδου και βαρών.

7.1.3 Τροφοδότηση

Στην περίπτωσή μας θα χρησιμοποιήσουμε δίκτυα απλής τροφοδότησης με την δυνατότητα επέκτασης σε δίκτυα με ανατροφοδότηση. Στα δίκτυα απλής τροφοδότησης έχουμε ένα επίπεδο εισόδου, ένα επίπεδο εξόδου και ένα ή περισσότερα ενδιάμεσα κρυφά επίπεδα. Το πρώτο που πρέπει να κάνει το δίκτυο είναι η μάθηση, δηλαδή να εκπαιδευτεί ώστε να παράγει το σωστό αποτέλεσμα που είναι η απόδοση των σωστών τιμών απόστασης ως εξόδος του νευρωνικού. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της τοποθέτησης στον χώρο transponders με γνωστή θέση και απόσταση από τους readers που θα αποτελέσουν την έξοδο του νευρωνικού, ενώ σαν είσοδο θα έχουμε τις τιμές πιθανότητας που προκύπτουν για αυτούς τους γνωστούς transponders.

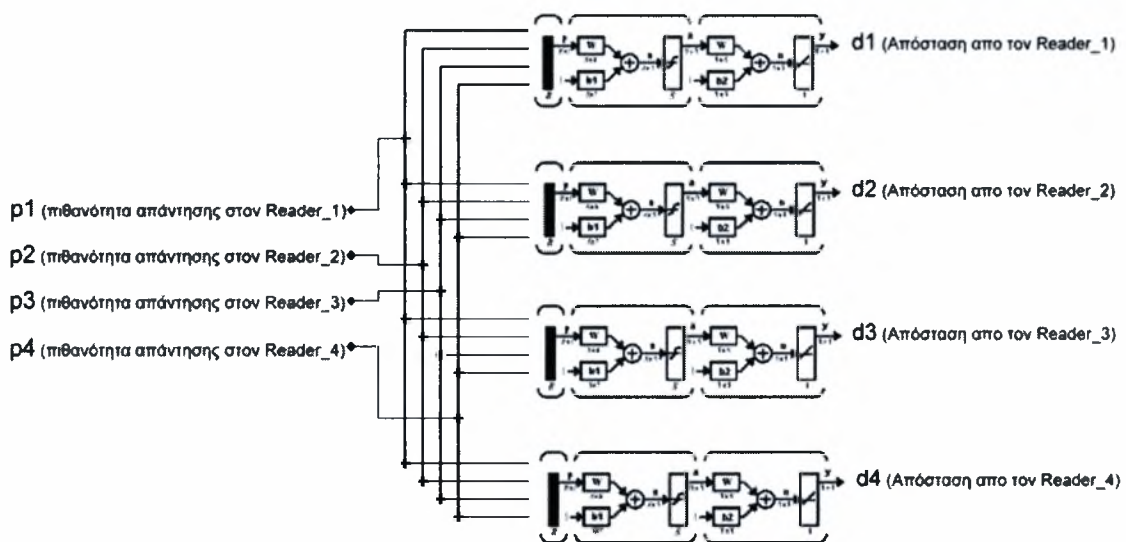
7.2 Τοπολογία δικτύου

Το δεύτερο θέμα είναι η τοπολογία του δικτύου δηλαδή το πόσα κρυφά επίπεδα θα έχει το δίκτυο και από πόσους νευρώνες θα αποτελείται το κάθε επίπεδο. Στο δίκτυό μας επιλέξαμε δύο κρυφά επίπεδα και αριθμό νευρώνων στο πρώτο ίσο με τον αριθμό των transponders γνωστής θέσης που εκπαιδεύουν το δίκτυο. Σαν μελλοντική επέκταση μπορούμε να αναφέρουμε το νευρωνικό δίκτυο Gauss – Sigmoid το οποίο αποτελείται από δύο κρυφά επίπεδα και υπάρχει η δυνατότητα επιλογής του αριθμού των νευρώνων για να έχουμε απόδοση του δικτύου ανάλογα με τη ζητούμενη ταχύτητα.



Σχήμα 7.2

Το σχήμα 7.2 μας δείχνει αναλυτικά την τοπολογία του δικτύου όπου στην είσοδο το νευρωνικό δίκτυο δέχεται τις τέσσερις πιθανότητες που υπολογίστηκαν από το μοντέλο matlab, και δίνει σαν έξοδο y την απόσταση του transponder από τον Reader. Συνεπώς το σύστημά μας θα αποτελείται από τέσσερα νευρωνικά δίκτυα, ένα για κάθε Reader, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.3.



Σχήμα 7.3

7.3 Εκπαίδευση δικτύου

Κατά την φάση της εκπαίδευσης δίνουμε τις τέσσερις γνωστές πιθανότητες στην είσοδο και την γνωστή απόσταση από τον κάθε Reader η οποία είναι και η επιθυμητή. Το νευρωνικό δίκτυο, με την τρέχουσα κατάσταση των βαρών παράγει κάθε φορά μια έξοδο, η οποία αρχικά διαφέρει από την επιθυμητή. Αυτή η διαφορά ονομάζεται σφάλμα και βάση αυτής γίνεται η αναπροσαρμογή των βαρών. Παράλληλα με την αναπροσαρμογή των βαρών κάθε φορά που στην εκπαίδευση συμμετέχει ένα νέο transponder ο αριθμός των νευρώνων στο πρώτο επίπεδο αυξάνει κατά ένα για να έχουμε μετά το πέρας της εκπαίδευσης αριθμό νευρώνων ίσο με αυτόν των tag γνωστής και καθορισμένης θέσης.

Το σύστημά μας είναι έτοιμο, δηλαδή τα βάρη έχουν προσαρμοστεί κατάλληλα και μπορεί πλέον να δεχτεί διανύσματα εισόδου και από αυτά να παράγει με βάση τις τιμές των βαρών τα διανύσματα εξόδου. Αυτή είναι η φάση ανάκλησης που αναφερθήκαμε πιο πριν. Έτσι δίνοντας στο σύστημα μια τετράδα από ποσοστά που αντιστοιχούν στην πιθανότητα απάντησης του tag στον κάθε Reader, αυτό θα παράγει τελικά μια τετράδα αριθμών που αντιστοιχούν στις αποστάσεις του tag από τον κάθε Reader.

8. Συνάρτηση υπολογισμού θέσης

8.1 Διάταξη προσδιορισμού στίγματος

Μέχρι το σημείο αυτό έχουμε υπολογίσει τις εκτιμήσεις των αποστάσεων μεταξύ του tag και όλων των διαθέσιμων αναγνώστών. Υποθέτοντας ότι έχουμε N αναγνώστες ($n \geq 3$) για να προσδιορίσουμε με ακρίβεια την θέση του tag χρειάζεται να λύσουμε ένα σύστημα $N \times 3$ (N εξισώσεις, 3 μεταβλητές). Στην γενική περίπτωση το σύστημα αυτό είναι υπέρπροσδιορισμένο. Επίσης λόγω του σφαλμάτων που προκύπτουν κατά τον υπολογισμό της εκτιμώμενης απόστασης, το σύστημα μας πιθανότατα δεν θα έχει λύση. Οι εξισώσεις έχουν την παρακάτω μορφή :

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = R_i, \quad i = 0, \dots, N$$

$$x^2 + 2xx_i + x_i^2 + y^2 + 2yy_i + y_i^2 + z^2 + 2zz_i + z_i^2 = R_i, \quad i = 0, \dots, N$$

8.1.1 Αναγωγή του συστήματος σε γραμμικό

Όπως παρατηρούμε το σύστημα στην μορφή αυτή δεν είναι γραμμικό. Για να το μετατρέψουμε σε γραμμικό αρκεί να επιλέξουμε μία από τις N εξισώσεις και να την αφαιρέσουμε από όλες τις υπόλοιπες. Υποθέτοντας ότι επιλέγουμε την εξίσωση N προκύπτει το παρακάτω σύστημα.

$$(x^2 + 2xx_i + x_i^2 + y^2 + 2yy_i + z_i^2 + z^2 + 2zz_i + z_i^2) - (x^2 + 2xx_N + x_N^2 + y^2 + 2yy_N + z_N^2 + z^2 + 2zz_N + z_N^2) = R_i - R_N, i = 0, \dots, N \quad \text{ή}$$

$$2x(x_i - x_N) + x_i^2 - x_N^2 + 2y(y_i - y_N) + y_i^2 - y_N^2 + 2z(z_i - z_N) + z_i^2 - z_N^2 = R_i - R_N, \\ \text{για } i = 0, \dots, N$$

Το σύστημα που περιγράφεται στην παραπάνω εξίσωση είναι γραμμικό.

Ωστόσο δεν είναι ισοδύναμο με το αρχικό καθώς μετά την αφαίρεση της επιλεχθείσας εξίσωσης τυχόν σφάλματα που πιθανώς εμπεριέχονται σε αυτή έχουν διαδοθεί και σε όλες τις υπόλοιπες επηρεάζοντας είτε την τιμή της λύσης του συστήματος είτε και την ύπαρξή της.

Έχουμε καταλήξει σε ένα σύστημα το οποίο μπορούμε να λύσουμε εύκολα και που περιγράφεται από την παρακάτω εξίσωση

$$A_i S_i = B_i, \quad S_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}, \quad i = N$$

Η λύση του όμως δεν έχει την επιθυμητή ακρίβεια καθώς το σφάλμα του εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την «καλή» επιλογή της προς αφαίρεση εξίσωσης, που δεν μπορούμε να εγγυηθούμε. Για να προσπεράσουμε το ζήτημα αυτό χρησιμοποιούμε την τεχνική του “leave one out cross-validation” ακολουθώντας την παρακάτω διαδικασία.

Επιλέγουμε μια από τις εξισώσεις του αρχικού μη γραμμικού συστήματος και την αφαιρούμε από αυτό παίρνοντας ένα νέο γραμμικό σύστημα. Λύνουμε το σύστημα και βρίσκουμε το διάνυσμα λύσης S_i . Επαναλαμβάνουμε την διαδικασία επιλέγοντας μια άλλη εξίσωση για να αφαιρεθεί από το αρχικό σύστημα. Όταν επαναλάβουμε την διαδικασία N φορές έχουμε N διανύσματα λύσης που έχουν προκύψει από την αφαίρεση N διαφορετικών εξισώσεων από το αρχικό μας σύστημα.

Τέλος σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση,

$$S_{final} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i}{n}$$

σταθμίζουμε τις λύσεις που έχουμε βρει μέχρι εκείνη την στιγμή και καταλήγουμε στην τελική λύση του συστήματος μας. Αυτό που επιτυγχάνουμε με την χρήση της μεθόδου αυτής είναι ότι τυχόν μεγάλο σφάλμα σε μία εξίσωση δεν επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα της τελικής μας λύσης.

8.1.2 Λύση του συστήματος

Μέχρι τώρα είχαμε εστιάσει στην μετατροπή του αρχικού μας μη γραμμικού συστήματος σε γραμμικό υποθέτοντας ότι η επίλυση του προκύπτοντος θα είναι απλή. Ωστόσο δεν είναι καθώς το σύστημα που προκύπτει θα είναι υπερπροσδιορισμένο και θα περιέχει θόρυβο συνεπώς πιθανότατα δεν θα έχει ακριβή λύση. Συνεπώς θα πρέπει να υπολογίσουμε μια προσέγγισή της με το μικρότερο συνολικό σφάλμα. Η λύση με το ελάχιστο σφάλμα μπορεί να βρεθεί με χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων. Ωστόσο η ταχεία σύγκλιση της μεθόδου εξαρτάται αρκετά από την εύρεση καλού σημείου εκκίνησης. Συνεπώς θα πρέπει να βρούμε σημείο που θα είναι «καλό» για όλες τις εξισώσεις. μπορούμε να υπολογίσουμε την QR παραγοντοποίηση του A και βάσει αυτής να λύσουμε το σύστημα. Παίρνουμε δηλαδή :

$$A P = Q R$$

Όπου P ένας πίνακας μετάθεσης του A, και εφόσον διαστάσεις του A είναι $m \times 3$, ο πίνακας Q θα είναι $m \times m$ με ορθοκανονικές στήλες και ο R θα είναι άνω τριγωνικός 3×3 . Κατόπιν μέσω των Q και R λύνουμε το σύστημα.

$$A x = B$$

$$Q = B$$

$$R x = Q^T B$$

$$x = R^{-1} Q^T B$$

Μέσω της τελευταίας σχέσης καταλήγουμε σε λύση του γραμμικού μας συστήματος που δεν ελαχιστοποιεί την 2-νόρμα του $Ax = B$ αλλά παρέχει ικανοποιητική ακρίβεια. Ωστόσο και εδώ για μπορούμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο θα πρέπει να μπορούμε να εγγυηθούμε ότι ο πίνακας R θα είναι αντιστρέψιμος. Για να παρακάμψουμε και αυτό το ζήτημα επιλέγουμε την μεταβλητή με το μικρότερο πεδίο ορισμού, έστω τη z και υπολογίζουμε το μέσο του πεδίου αυτού και με αυτό ως σημείο εκκίνησης τρέχουμε την μέθοδο της τέμνουσας με προς ελαχιστοποίηση συνάρτηση την

$$f(z) = B - (A[:, 3]z + A[:, 1]S[1] + A[:, 2]S[2])$$

με τον S να προκύπτει από την λύση του

$$CS = B - A[:, 3]z$$

Προφανώς και το σύστημα της παραπάνω σχέσης είναι υπερπροσδιορισμένο κι έτσι επιλέγουμε και πάλι να το λύσουμε με QR παραγοντοποίηση. Ακολουθώντας λοιπόν την διαδικασία όπως την περιγράψαμε και παραπάνω έχουμε

$$QRS = C$$

$$RS = Q^T C$$

$$S = R^{-1} Q^T C$$

Παρατηρούμε ότι και πάλι χρειάζεται ο υπολογισμός του αντιστρόφου του R . Ωστόσο πλέον έχουμε δύο πλεονεκτήματα, είναι λιγότερο πιθανό ο 2×2 R να μην είναι αντιστρέψιμος και δεύτερον ότι ακόμη και εάν αυτό ισχύει μπορούμε να τον αντικαταστήσουμε με τον Moore-Penrose ψευδοαντίστροφό του με πολύ μικρό σφάλμα. Τέλος για να πετύχουμε ταχεία ολοκλήρωση της μεθόδου ορίζουμε συνθήκη τερματισμού την $|z_i - z_{i+1}| < 0.01$

8.2 Εκτίμηση εμπιστοσύνης

Ως εκτίμηση εμπιστοσύνης ορίζεται το μέτρο της ακρίβειας με την οποία υπολογίσαμε την θέση του tag. Ιδανικό μέτρο θα ήταν η 2-νόρμα της διαφοράς ανάμεσα στην θέση που υπολογίσαμε και την πραγματική θέση του tag. Οστόσο εάν αυτό δεν είναι tag

αναφοράς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την πραγματική του θέση. Επίσης επιθυμούμε ο υπολογισμός του να είναι απλός ώστε να μπορούμε να τον εκτελούμε σε κάθε αναζήτηση και μέσω αυτού να επιτηρούμε την απόδοση του συστήματος. Αρκεί να παρατηρήσουμε ότι εάν όλες οι μετρήσεις από όλα τα δίκτυα είναι ακριβείς τότε το σύστημα θα έχει ακριβή λύση την S_{final} . Συνεπώς μπορούμε να υπολογίσουμε το σφάλμα των μετρήσεων μέσω της διαφοράς

$$d = \sum_{i=1}^N \left| (S_{final_x} - x_i)^2 + (S_{final_y} - y_i)^2 + (S_{final_z} - z_i)^2 - R_i^2 \right|$$

Από όπου προκύπτει το μέτρο εμπιστοσύνης

$$t = \frac{1}{1 + d}$$

Το t παίρνει τιμές μεταξύ $[0,1]$ και μπορούμε εύκολα να επιλέξουμε μια τιμή κατωφλίου π.χ. $t_{min} = 0.5$ στο οποίο εκκινείται η διαδικασία επανεκπαίδευσης.

8.3 Παραγωγή δεδομένων εκπαίδευσης

Σε προηγούμενη παράγραφο είδαμε ότι πρέπει να υπολογίσουμε δεδομένα με τα οποία θα τροφοδοτούμε τα νευρωνικά δίκτυα για την επανεκπαίδευσή τους. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να έχουν την μορφή, “διάνυσμα πιθανοτήτων από όλους τους αναγνώστες” – “αντίστοιχη απόσταση από τον αναγνώστη i ”. Για τον υπολογισμό τους αποστέλλουμε στο σύστημα ένα αίτημα ανάγνωσης για κάποιο tag αναφοράς και εκτελούμε για αυτό κανονικά την διαδικασία μέχρι που το σύστημα μεταβαίνει στην κατάσταση Locator από εκεί μεταβαίνουμε στην κατάσταση training data. Εκεί υπολογίζουμε την αποστάσεις ανάμεσα στον αναγνώστη i και το tag μέσω της αντικατάστασης των x,y,z με τις συντεταγμένες του tag και λύση με τον απλό τύπο της απόστασης. Μετά τον υπολογισμό των δεδομένων εκπαίδευσης αυτά αποστέλλονται στα νευρωνικά δίκτυα και το σύστημα επιστρέφει στην αρχική του λειτουργία.

9. Επίλογος

9.1 Σύνοψη

Συνοψίζοντας τα παραπάνω βλέπουμε ότι σχεδιάσαμε μια διάταξη υπολογισμού θέσης για RFID tags σε περιβάλλον matlab βασιζόμενοι μόνο στην πληροφορία που παρέχεται ήδη από τους σημερινούς αναγνώστες εξασφαλίζοντας έτσι συμβατότητα με κάθε τύπο RFID . Αξίζει να αναφέρουμε ότι το ζήτημα θα μπορούσε επιλυθεί αρκετά απλούστερα εάν εκπαιδεύαμε τα νευρωνικά δίκτυα ώστε να υπολογίζουν απευθείας τις συντεταγμένες του tag και σταθμίζοντας τα αποτελέσματά τους. Ωστόσο η λύση αυτή δεν επιλέχθηκε καθώς με τον υπολογισμό του στίγματος του tag εκτός του δικτύου μπορούμε να έχουμε σαφώς καλύτερη επίβλεψη της λειτουργίας του συστήματος. και καθώς το προς επίλυση από τα νευρωνικά δίκτυα είναι μικρότερο Επίσης ο χρόνος που απαιτείται για την επίλυση μέσω του νευρωνικού δικτύου αντι της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων είναι σημαντικά μικρότερος και έτσι έχουμε ταχύτερη προσαρμογή στις μεταβολές του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί το σύστημα και γενικά η απόδοση χαρακτηρίζεται καλύτερη.

Παράρτημα

Παρακάτω παρατίθεται ο κώδικας matlab μέσω του οποίου προσομοιώνουμε την λειτουργία των επιμέρους τμημάτων του συστήματος

- *function coil=coil(N,R,d)*

%Calculates a coil's inductance according to it's dimencions

m0=1.257(10^(-6));*

*coil = N^2*m0*R*log(2*R/d);*

- *function Capacity = C(f,N,R,d)*

%Calculates the tags capacitance for given operating frequency and tag coil

%dimensions

*Capacity = 1/((2*pi*f)^2*coil(N,R,d));*

- *function Wmega = w(f)*

%Calculates W according to a given f

*Wmega = f^2*pi;*

- *function amoibaia_epagwgh=am_ep(N1,N2,R1,R2,x)*

%Calculates the mutual inductance between to coils in distance x

m0=1.257(10^(-6));*

*amoibaia_epagwgh=(m0*N1*(R1^2)*N2*(R2^2)*pi)/(2*(sqrt(((R1^2)+(x^2))^3)));*

- *function Kappa = k(N1,R1,d1,N2,R2,d2,x)*

%calculates the coupling coefficient for two coils in distance x

coil1 = coil(N1,R1,d1);

coil2 = coil(N2,R2,d2);

*Kappa = am_ep(N1,N2,R1,R2,x)/sqrt(coil1*coil2);*

- *function Voltage = Vi (freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,x,Ir,Rt,Res2)*

%The voltage inducted to a coil with cirquit resistance Res2

Wt = w(freq);

L2 = coil(N2,R2,d2);

L1 = coil(N1,R1,d1);

C2 = C(freq,N2,R2,d2);

Ka = k(N1,R1,d1,N2,R2,d2,x);

*Voltage = (Wt*Ka*sqrt(L1*L2)*Ir) / sqrt((Wt*L2/Rt + Wt*Res2*C2)^2 + (1-Wt^2*L2*C2 * Res2/Rt)^2);*

- *function Umin=Um(freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2)*

%the minimum inducted woltage to power up a tag with Hmin = Hm

Wt = w(freq);

L2 = coil(N2,R2,d2);

C2 = C(freq,N2,R2,d2);

*Alpha=2*pi*(R2^2);*

m0=1.257(10^(-6));*

Hm=13.9220;

Umin=1/(sqrt((Wt^2) (L2/Rt + Res2/(((Wt^2)*L2))^2 + (Res2/Rt)^2))/ (Wt*m0*Alpha*N2*Hm));*

- *function H = Htta (freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,x,Ir,Rt,Res2)*

%the voltage inducted to the tag chip

Wt = w(freq);

L2 = coil(N2,R2,d2);

C2 = C(freq,N2,R2,d2);

U2 = Vi (freq,N1,R1,d1,N2,R2,d2,x,Ir,Rt,Res2);

m0=1.257(10^(-6));*

*Alpha=2*pi*(R2^2);*

*H = (U2*sqrt((Wt^2)* (L2/Rt + Res2/(((Wt^2)*L2))^2 + (Res2/Rt)^2))/ (Wt*m0*Alpha*N2);*

%Rt is the tag load resistance

- *function Apotelesma = Vsnr(Vs,SNR)*

Apotelesma = Vs / 10^(SNR/20);

%Ypologizoume to megisto platos tou thoribou wste na pianoume to min SNR

- *function propability= Prop(start,stop)*

%calculates the probability a random variable beeing between [start,stopa]

p = normcdf([start stop]);

propability = p(2) - p(1);

*%propability = int((1/(sqrt(2*pi)*sigma))*exp(-(x-m)^2/2*(sigma^2)),x,start,stop);*

- *function Coordinates = LocateCV(RVectors,DVectors)*

%Solves a NX2 linear system as described in par. 9.1.2

if (nargin ~=2)

fprintf('Wrong number of arguments');

return ;

end

Dim = size(RVectors);

if (Dim(1) ~= 2)

fprintf('Wrong format of reader arguments (more than 3 dimensions?);

return ;

end

```

M = Dim(2); %The amount of input equations
Dim = size(DVectors);
if (Dim(2) ~= 1)
fprintf('Wrong format of distance arguments');
return ;
end
if ( Dim(1) ~= M)
fprintf('Incompatible input vector sizes');
end
for i=1:1:M % The crossvalidation loop
Rc = RVectors(:,i); %Selecting the reader-driver
Dc = DVectors(i);
Rc2 = Rc.^2; %[Xc2 Yc2 Zc2]
Dc2 = Dc.^2; %Rc2
Rc2 = sum(Rc2); %Xc2+Yc2+Zc2
Rtemp = RVectors; %Copy the input vector into a new one
Rtemp(:,i) = []; %Delete the driver line
Rt2 = Rtemp.^2; %[Xi2 Yi2 Zi2]
Rt2 = sum(Rt2); %Xi2+Yi2+Zi2 (rotate?)
Dtemp = DVectors; %Copy the distance vector into a new one
Dtemp(i,:) = []; %Delete the driver line
Dtemp = Dtemp.^2; %Ri2
B = ones(M-1,1); %B has M-1 lines
Temp = Rc2 - Dc2; %Temp = (Xc2+Yc2+Zc2) - Rc2
B = B * Temp; %B has all lines == temp
B = B + Dtemp - Rt2.'; %B = [ Ri2 - Rc2 + (Xc2+Yc2+Zc2) - (Xi2+Yi2+Zi2) ]
A1 = ones(M-1,1); %A has M-1 lines
A = A1 * Rc.'; %A = [Xc Yc Zc] (M-1 columns)
A = 2*(A - Rtemp. '); %A = [2(Xc-Xi) 2(Yc-Yi) 2(Zc-Zi)]
A;
B;
Solution(i,:) = A \ B ; %Ax = B
end
SolutionAVG = mean(Solution);
Coordinates = SolutionAVG;

```

• *function Coordinates = LocateFull(RVectors,DVectors,Space)*

```

%Solves the euclidian norm problem using the secant method as an SLE wCV for a
%predetermined Z subspace
if (nargin ~=2 && nargin ~=3)
fprintf('Wrong number of input arguments')
return ;
end
Dim = size(RVectors);
if (Dim(1) == 2)
Coordinates = LocateCV(RVectors,DVectors);
fprintf('2D problemm. Solving as SLE wCV')
return ;

```

```

end
if (Dim(1) > 3)
fprintf('Too many dinencions cannot find good aproximation;')
Coordinates = [0,0,0];
return ;
end
M = Dim(2); %The amount of input equations
Dim = size(DVectors);
if (Dim(2) ~= 1)
fprintf('Wrong format of distance arguments')
return ;
end
if ( Dim(1) ~= M )
fprintf('Incompatible input vector sizes')
end
if (nargin == 2)
fprintf('No space')
Xcur = 0
Xpre = 0.1;
else
Xcur = Space(1); %Xk
Xpre = 0; %Xk-1
end
Temp = LocateX(RVectors,DVectors,Xpre); %F(Xk-1) *****
Fpre = Temp(1);
count = 0;
while ((abs(Xcur - Xpre)) > 0.01)
count = count + 1;
Xpre2 = Xpre; %Xk-2 = Xk -1
Xpre = Xcur; %Xk -1= Xk
Fpre2 = Fpre;
Temp = LocateX(RVectors,DVectors,Xpre); % *****
Fpre = Temp(1)
Down = Fpre - Fpre2
if (Down == 0)
fprintf('Add exeption handler')
Coordinates = [Temp(2) Temp(3) Xpre];
return;
end
Xcur = Xpre - Fpre*(Xpre - Xpre2)/Down
end
count
Coordinates = [Temp(2) Temp(3) Xpre];

• function couple = Trainer(width,length,N1,R1,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2,SNR)

%Creates a training data set for our neural network
Frequency =(125 * 10^3);

```

```

Pinit = 42 % 42dmA/m is the maximum allowed transmission power according to existing
regulations
positionX = [0];
positionY = [0];
grain = 0.05;
MinVoltage = Um(Frequency,N1,R1,d1,N2,R2,d2,Ir,Rt,Res2); % The minimum voltage
induced on the chip to ensure operation
%[Frequency, Pinit,positionX,positionY,grain] = textread(input, '%d*[\n] %d*[\n]
%f*[\n] %f*[\n] %f*[\n]', 1);
i2=0;
for m=0:grain:length
i2 = i2 + 1;
end
j2 = 0;
for m=0:grain:width
j2 = j2 + 1;
end
Temp = zeros(j2,i2);
Temp2 = zeros(j2,i2);
Temp3 = zeros(j2,i2);
for i=1:1:1
Temp =
max(Temp,VoltageVector(positionX(i),positionY(i),length,width,grain,Frequency,N1,R1,d1,N
2,R2,d2,Ir,Rt,Res2));
end
for i=1:1:1
Temp3 =
max(Temp3,SNRVector(positionX(i),positionY(i),length,width,grain,Frequency,N1,R1,d1,N2,
R2,d2,Ir,Rt,Res2,SNR));
end
Xlabel=1:1:j2;
Ylabel=1:1:i2;
for pass1=1:1:j2
for pass2=1:1:i2
Temp2(pass1,pass2)= MinVoltage;
end
end
Temp = Temp - Temp2;% Vinducted - minOperational Voltage
for pass1=1:1:j2
for pass2=1:1:i2
if (Temp(pass1,pass2) < (-Temp3(pass1,pass2))) Temp(pass1,pass2) = Prop(-
Temp3(pass1,pass2),Temp3(pass1,pass2));
elseif ( (-Temp3(pass1,pass2)) < Temp(pass1,pass2) && Temp(pass1,pass2) <
Temp3(pass1,pass2))
Temp(pass1,pass2) = Prop(Temp(pass1,pass2),Temp3(pass1,pass2));
else Temp(pass1,pass2) = Prop(Temp3(pass1,pass2),Temp(pass1,pass2));
65

```

